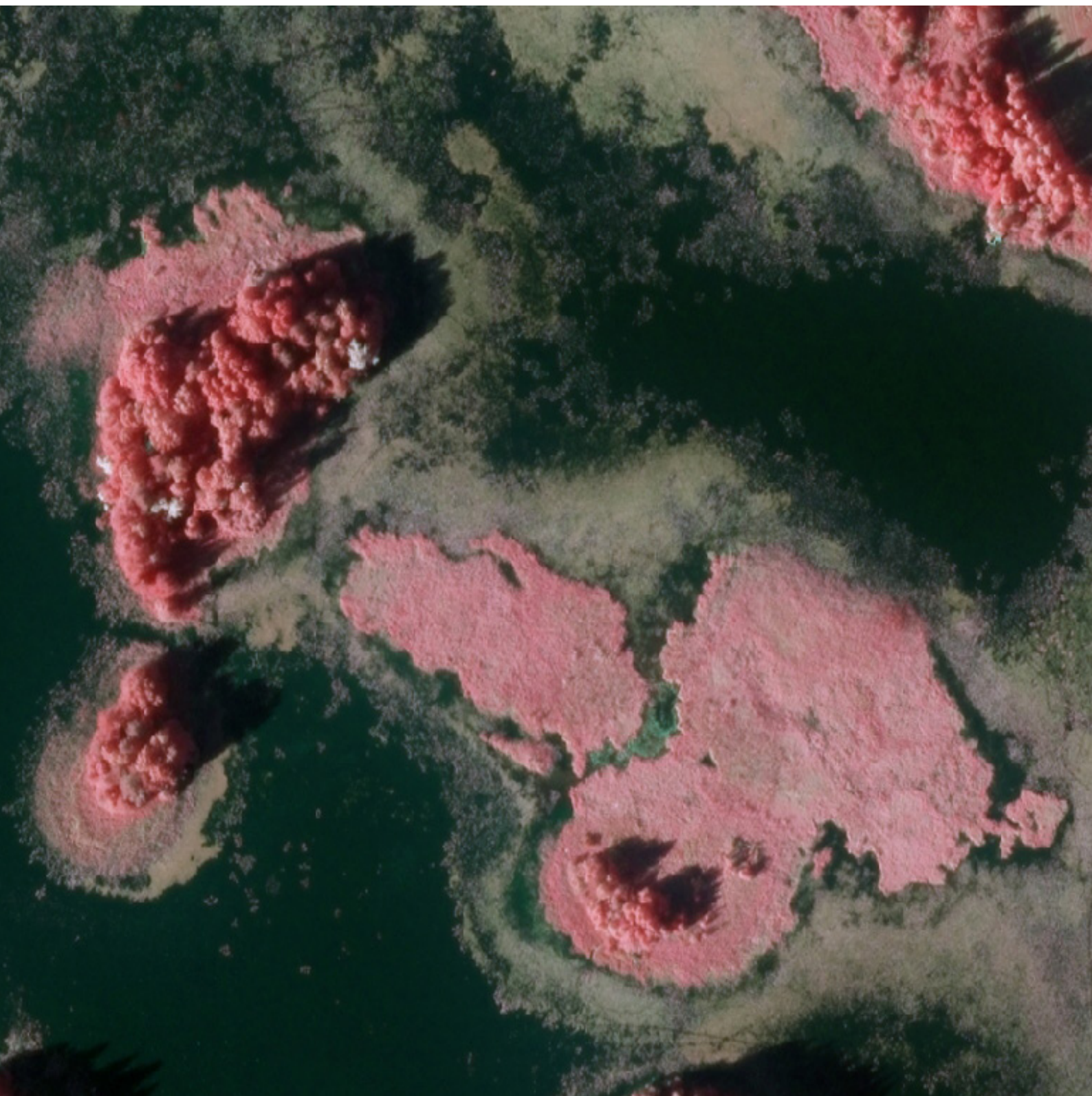




# Kansallisen kuvausohjelman ilmakuvat vesikasvillisuuden runsastumisen ja tilan arvioinnissa

JUHO-VILLE MARTTILA | JUKKA AROVIITA | MARKUS TÖRMÄ | SAMPSA KOPONEN | IIDA AUTIO |  
VELI-MATTI VALLINKOSKI | MINNA KUOPPALA | MAJ RASILAINEN | ANTTI KANNINEN





Kansallisen kuvausohjelman  
ilmakuvat vesikasvillisuuden  
runsastumisen ja tilan  
arvioinnissa

**RAPORTEJA 65 | 2018**

**KANSALLISEN KUVAUSOHJELMAN ILMAKUVAT VESIKASVILLISUUDEN  
RUNSASTUMISEN JA TILAN ARVIOINNISSA**

**Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus**

**Taitto: KEHA-keskus**

**Kansikuva: Ilmakuva Maaningan Valkeiselta. Kuva: Maanmittauslaitos**

**Kuvat: Pohjois-Savon ELY-keskus, SYKE, MML 2018**

**Kartat: Juho-Ville Marttila | Pohjakartta-aineistot: ©MML ja SYKE**

**ISBN 978-952-314-750-8 (PDF)**

**ISSN 2242-2854 (verkkojulkaisu)**

**URN:ISBN:978-952-314-750-8**

**[www.doria.fi/ely-keskus](http://www.doria.fi/ely-keskus)**



## Sisältö

1 Johdanto .....	5
1.1 Hankkeen tausta .....	5
1.2 Vesikasvillisuuden ilmakuvatulkinnan aiempi tutkimus.....	5
1.3 Hankkeen tavoitteet.....	6
2 Aineisto ja menetelmät.....	7
2.1 Ilmakuva-aineisto .....	7
2.2 Soveltuvien ilmakuvatulkintamenetelmien arviointi.....	8
2.3 Valittu menetelmä NDVI-kynnystys.....	9
2.4 Tulkintamenetelmän (NDVI) validointi aiemmin kerätyllä vesikasvillisuus-seuranta-aineistolla .....	10
2.5 Validointi hankkeen aikana kerätyllä maastototuusaineistolla .....	12
2.6 Paikallisten kynnysten soveltaminen.....	15
2.7 Tulkintamenetelmän validointi visuaalisella tarkastelulla.....	15
2.8 Tulkintamenetelmä varjomaskille.....	16
2.9 Tulkintatulosten vertailu eri vuosien ja kuvaajien välillä.....	17
2.10 Käyttäjakohtaiset erot tulkintatuloksissa .....	22
3 Tilan arviointimenetelmä .....	23
3.1 Periaate .....	23
3.2 Järvien valinta .....	23
3.3 Kasvittumisasteen laskenta .....	24
3.4 Kasvittumisasteen vaihtelu.....	24
3.5 Vertailuolosuhteiden mallintaminen kasvittumisasteelle .....	25
3.6 Tilan arviointi kasvittumisasteen perusteella.....	27
3.7 Kasvittumisasteeseen ja lajistoon perustuvien tilamuuttujien välinen suhde .....	28
3.8 Odotetun kasvillisuuden pinta-alan mallinnus .....	29
4 Järvien vedenpinnan noston vaikutukset umpeenkasvukehitykseen.....	30
4.1 Tausta.....	30
4.2 Aineisto ja menetelmät.....	30
4.3 Tulokset .....	31
4.4 Tarkastelu .....	36
5 Pohdinta .....	37
5.1 Kuva-aineiston käyttökelpoisuus .....	37
5.2 Henkilöosaaminen .....	37
5.3 Menetelmän kustannukset .....	38
5.4 Muiden menetelmässä tarvittavien paikkatietoaineistojen puutteet .....	39
5.5 Kehittämistarpeet .....	39
6 Kirjallisuus.....	40

## **Liitteet**

<b>Liite a. Prosessikaavio vesikasvillisuuden tulkintamenetelmälle .....</b>	<b>42</b>
<b>Liite b. Ohjeet tulkintasovelluksen käyttöön hankkeessa kehitetyillä</b>	
<b>ArcGIS-työkaluilla .....</b>	<b>44</b>
1 Ladattavat aineistot .....	44
2 Järven ilmakuvatilanteen tarkistaminen .....	45
3 Huomautukset ennen työkalujen käyttöä .....	47
4 Työkalujen käyttöliittymät ja ohjetekstit .....	47
5 Ortokuvien leikkaaminen järvikuviolla .....	47
6 Indeksirastereiden tuottaminen .....	48
7 Kynnysarvojen määrittäminen .....	48
8 Indeksirastereiden paikallinen kynnystäminen .....	52
9 Luokittumisen onnistumisen validointi .....	52
10 Tunnuslukujen kirjoittaminen tekstitiedostoon .....	56
11 Varjomaskit karttapalvelussa julkaistavaksi varjomaskiksi .....	56
12 Käytettyjen kynnysarvojen metatasot .....	57
13 Tuotettujen karttatasojen luovuttaminen .....	57
14 Tuotettujen tunnuslukujen koostaminen ja luovuttaminen .....	58
<b>Liite c. Kuvasarja tulkinnan estäneistä tekijöistä ortokuvissa. ....</b>	<b>60</b>

# Esipuhe

Tässä raportissa esitellään ILMAVERSO OHKE-hankkeessa ("Kansallisen kuvausohjelman ilmakuvat vesikasvillisuuden runsastumisen ja tilan arvioinnissa") kehitetty järvien vesikasvillisuuden kaukokartoitusmenetelmä. Kehitystyöstä tuli ajankohtaista vuoden 2016 alusta, jolloin Maanmittauslaitoksen koordinoima kansallinen ilmakuvausohjelma käynnistyi. Kyseinen ohjelma mahdollistaa vapaasti käytettävien, ajantasaisen ilmakuvien saatavuuden koko maan laajuudessa.

Avoimien kaukokartoitusaineistojen saatavuus ja käyttö lisääntyy jatkuvasti ja tämä hanke osaltaan tuki tätä kehityssuuntaa. Järvien vesikasvillisuuden uudet tutkimusmenetelmät ovat tarpeellisia, koska nykyisillä vakiomenetelmillä tehtävät lajitason maastotutkimukset ovat työläitä ja niitä voidaan tehdä ainoastaan keskikesällä. Näin ollen maastoseurannoilla pystytään tutkimaan vain hyvin pieni osan Suomen järvistä. Ilmakuvia on perinteisesti käytetty vesikasvillisuuden tutkimisessa, mutta vakioituneet ja tarkasti dokumentoidut menetelmät ovat puuttuneet. Uusi helposti saatava lähtöaineisto ja tässä hankkeessa luotu tulkintamenetelmä mahdollistavat ilmakuvatulkinnan käytön laajentamisen vesikasvillisuuden tutkimusmenetelmänä.

Merkittävä osa hankkeen tuotoksista ovat ArcGIS-työkalut, joiden avulla ilmakuvien tulkinta kasvillisuuskarttoiksi toteutetaan. Työkalut ja hankkeen aikana tuotetut aineistot ovat vapaasti ladattavissa internetistä. Työkalut ovat luonteeltaan puoliautomaattisia eli niiden käyttäjälle jää tehtäväksi useita työvaiheita tulkintaprosessissa. Graafisten käyttöliittymien avulla vaiheista on pyritty saamaan mahdollisimman nopeita ja helposti toteutettavia. Raportin liitteet ohjeistavat työkalujen käytössä. ArcGIS-ohjelmistoversioiden kehittyessä työkalujen toimivuuteen voi tulla puutteita, joita pyritään mahdollisuuksien mukaan korjaamaan hankkeen jälkeen.

Hankkeessa arvioitiin tuotettujen kasvillisuuskarttojen käyttöä järvien tilanarvioinnissa sekä kunnostusten vaikutusten seurannassa. Molemmista saatiin lupaavia tuloksia ja tilanarvioinnin kehitystyötä jatketaan jatkohankkeessa.

ILMAVERSO OHKE-hankkeen toteutti Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus yhdessä Suomen ympäristökeskuksen Tietokeskuksen ja Vesikeskuksen kanssa. Maanmittauslaitos mahdollisti avoimen ilmakehän aineiston käytön ja antoi aineistosta tarvittavia lisätietoja. Hankkeen rahoitti Ympäristöministeriö. Hanke oli osa kansallista Monitor 2020 –ohjelmaa.

Kiitämme kaikkia mukana olleita henkilöitä panoksesta hankkeeseen!

Kuopiossa 15.2.2019

Projektsuunnittelija Juho-Ville Marttila  
Projektipäällikkö, hydrobiologi Antti Kanninen



# 1 Johdanto

## 1.1 Hankkeen tausta

Suurvesikasvillisuus on tärkeä osa järvien ekosysteemiä ja järvien tilaa ilmentävä eliöryhmä. Suurvesikasvien eli makrofytytien runsautta on arvioitu ilmakuvien avulla jo pitkään (esim. Meriläinen ja Toivonen 1979). Myös muuta satelliittipohjaista kaukokartoitusaineistoa on käytetty kasvillisuuspin-alojen laskentaan, mutta järvien kapealla rantavyöhykkeellä ongelmaksi on yleensä muodostunut satelliittikuvien riittämätön maastoresoluutio. Uudetkaan korkean resoluution satelliittikuvat eivät ole tuomassa tilanteeseen välitöntä muutosta, vaikka tulevaisuudessa satelliittikuvilta voitaneenkin tehdä tulkintoja myös sisävesien avovesialueen levätilanteesta ja muusta vedenlaadusta. Uudet, maastoresoluutioltaan ilmakuviin verrattavat satelliittikuvat ovat kaupallisia tuotteita, joiden hinta on vielä nykyisin varsin korkea. Ilmakuvaus joko perinteisesti lentokoneesta kuvattuina n. 0,5 metrin maastoresoluutiolla tai UAV-laitteista kuvattuina tarkemmalla, senttimetriluokan, maastoresoluutiolla säilynee tulevaisuudessakin käytännössä käyttökelpoisimpana vesikasvillisuuden kaukokartoitusmuotona.

Vesikasvillisuuden maastotutkimus on työlästä ja sitä rajoittaa kartoitukseen soveltuvan kauden rajoittuminen heinä-elokuuhun, jolloin vesikasvillisuus on runsaimmillaan. Vesienhoitolain mukaisia vesikasviseurantoja toteutetaan tällä hetkellä ns. päävyöhykelinjamenetelmällä (Kuoppala ym. 2006) ja vaikka menetelmää on vuosien kuluessa optimoitu, vaaditulla tasolla tehtävä kasvillisuustutkimus on verkkokoekalastuksen ohella kallista verrattuna muihin vesibiologisiin seurantoihin. Tämän vuoksi järvien ekologisen tilan luokituksessa käytettävää vesikasvillisuuden seuranta-aineistoa on olemassa vain murto-osasta Suomen järviä. Vuoden 2013 vesienhoidon tilaluokituksessa pystyttiin olemassa olevien maastoaineistojen avulla arvioimaan vesikasvillisuuden tila yhteensä 301 järvestä, kun yhteensä koko Suomessa biologiisiin aineistoihin pohjautuva tilaluokitus tehtiin 2233 järvelle. Kustannustehokkaampi seurantamenetelmä mahdollistaisi vesikasvillisuusseurannan laajentamisen ja vesikasvillisuuden runsauden käytön yleistymisen järvien tilan arvioinnissa. Avoimeen aineistoon perustuva ilmakuvatulkinta voi tarjota tällaisen uuden menetelmällisen mahdollisuuden.

## 1.2 Vesikasvillisuuden ilmakuvatulkinnan aiempi tutkimus

Jotta vesikasvillisuuden kokonaismäärä tai eri kasvilisustyyppien pinta-ala voidaan määrittää ilmakuvaineistoista, tarvitaan tulkintamenetelmä vesikasvillisuuden runsautta koskevan informaation saamiseksi. Soveltuvia tulkinta- ja käsittelymenetelmiä on useita.

Vesikasvillisuuden tulkintaan on ilmakuvien lisäksi käytetty VHR-satelliittikuvia (erittäin korkean maastoresoluution satelliittikuva, tyypillisesti pikselikooltaan 0,5-2 metriä), joskin ne ovat tuottaneet hieman huonompia tuloksia (Everitt ym. 2004). Saatavuuden mukaan ilmakuvina on käytetty mustavalkoista (Ekebon & Erkkilä 2003; Valta-Hulkkonen ym. 2004a; Partanen & Hellsten 2005; Partanen ym. 2009), tosiväri- (Marshall & Lee 1994; Partanen & Hellsten 2005; Partanen ym. 2009) tai väärävärikuvaa (Marshall & Lee 1994; Valta-Hulkkonen ym. 2003a; Valta-Hulkkonen ym. 2003b, Everitt ym. 2004; Valta-Hulkkonen ym. 2004a; Partanen & Hellsten 2005; Partanen ym. 2009). Tapauksesta riippuen vesikasvillisuutta tulkitaan jopa lajitasolla (Ma & Natha 2014), mutta yleisimmin tulkinta tehdään karkeammin elomuoto- tai valtalajitasoisena luokituksena (Valta-Hulkkonen ym. 2003b, Valta-Hulkkonen ym. 2004a).

Vesikasvillisuuden tulkintaa haittaavat etenkin pohjan näkyminen (Marshall & Lee 1994, Valta-Hulkkonen ym. 2003) sekä veden laadun vaihtelut (Marshall & Lee, 1994, Valta-Hulkkonen et.al, 2003b). Kuvausgeometria saattaa vaihdella ilmakuvan alueella paljon, jolloin saman tyyppisiä kohteita eri puolilla kuvaa valaistaan tai niitä kuvataan huomattavan eri suunnista. Tästä johtuen saman tyyppiset kohteet näytävät erilaisilta eri puolilta kuvaa. Vaikutusta voidaan pienentää radiometrisen normalisoinnin avulla, jolla poistetaan kuvausgeometrian ja heijastuksen välistä korrelaatiota (Valta-Hulkkonen ym. 2004b, Wolter ym. 2005).



Yksinkertaisimmillaan ilmakuvapohjainen vesikasvillisuuden runsauden tutkiminen on perustunut visuaaliseen tulkintaan (Ekebom & Erkkilä 2003; Valta-Hulkkonen ym., 2003a; Partanen & Hellsten 2005), jossa kasvillisuusalueet on digitoitu kuvaruutudigitoitina koordinaatistoon oikaistujen ilmakuvien päälle temaattisen kartan aikaansaamiseksi. Automaattisempina menetelminä tulkintaan on käytetty myös ohjaamatonta (Marshall & Lee 1994; Everitt ym. 2004; Wolter ym. 2005; Ma & Natha 2014) ja ohjattua luokittelua (Marshall & Lee 1994; Valta-Hulkkonen ym. 2003a; Valta-Hulkkonen ym. 2003b; Valta-Hulkkonen ym. 2004a; Partanen ym. 2009; Casado et.al. 2015). Siinä missä ohjaamattomassa luokittelussa tutkittava alue jaetaan spektrisesti homogeenisiin luokkiin ilman käyttäjän etukäteismäärittelyjä ja tietokonealgoritmin tuottamat luokat nimetään jälkikäteen, ohjatussa luokittelussa käyttäjä paikantaa ilmakuvasta kutakin luokkaa edustavia opetusalueita, joiden perusteella loppukuvan pikselit luokitellaan. Varsinkin ohjattua Maximum Likelihood –luokittelijaa on käytetty yleisesti. Visuaalisen tulkinnan ja ohjatun luokittelun on raportoitu tuottavan vastaavia tarkkuuksia, mutta ohjattu luokittelu on huomattavasti nopeampaa (Valta-Hulkkonen ym. 2003a).

Viime aikoina muun muassa SYKEssä on ruovikon pinta-alan tulkintaan satelliittikuvista käytetty Rousen ym. (1974) kehittämää normalisoitua kasvillisuusindeksiä (NDVI, normalized difference vegetation index). Se lasketaan kaukokartoitusaineistosta lähi-infrapunasäteilyn ja punaisen värin aallonpituusalueiden suhteena. NDVI kuvaa etenkin biomassan ja kasvuston tilaa, joten se on sovellettaessa lähtökohteisesti karkeahkoon kasvittuneen pinta-alan selvittämiseen. Lajitason erotteluun se ei juuri sovellu.

Wolter ym. (2005) pyrkivät parantamaan tulkinnan luotettavuutta käyttämällä aikasarjaa. Uusimpina työkaluina vesikasvillisuuden tulkintaan ovat lennokkeihin asennettujen kameroiden avulla tehdyt kuvaukset (Casado ym. 2015), hyperspektrikuvauksen käyttö (Vahtmäe & Kutser 2013) ja tähän liittyen spektrikirjastojen hyödyntäminen (Vahtmäe & Kutser 2013; Ma & Natha 2014). Suomessakin on viime vuosina kehitetty kopterikameroiden avulla tehtävää vesikasvillisuustulkintaa (Lopatin ym., julkaisematon).

## 1.3 Hankkeen tavoitteet

Tämän hankkeen tavoitteena oli luoda avoimeen kansallisen kuvausohjelman ilmakehän aineistoon pohjautuva, kustannustehokas ranta- ja vesikasvillisuuden tulkintamenetelmä, jota voitaisiin hyödyntää järvien vesikasvillisuuden runsastumisen seurannassa. Paikatietoteknisen tulkintamenetelmän ja sen dokumentaation lisäksi hankkeessa oli tavoitteena luoda menetelmä kasvillisuuden pinta-alatiedon hyödyntämiseksi osana järvien ekologisen tilan arviointia.

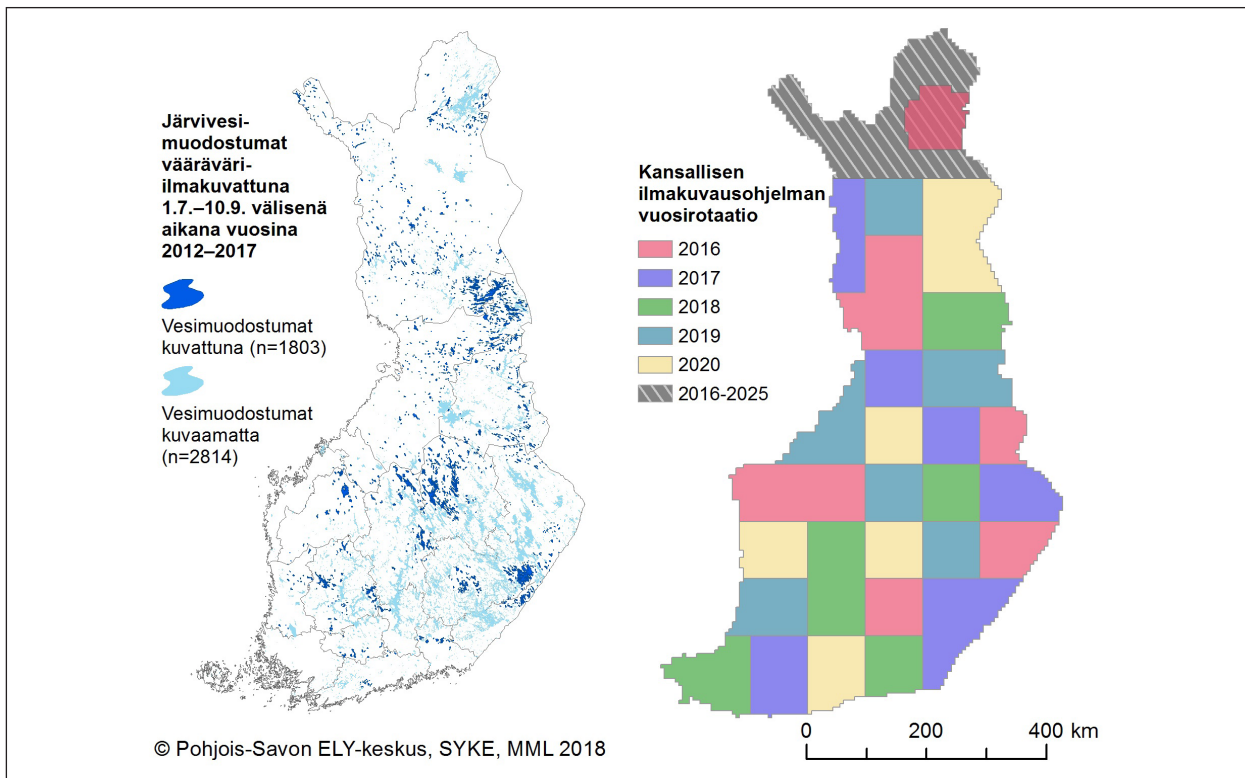
## 2 Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Ilmakuva-aineisto

Kansallinen ilmakuvausohjelma yhdistää Maanmittauslaitoksen (MML), Maaseutuviraston (Mavi) ja Suomen metsäkeskuksen (SMK) kuvaustarpeet suunnitelmalliseksi kokonaisuudeksi, jolla varmistetaan ajantasaisten ilmakuvien saatavuus koko maassa: suurin osa Suomesta kuvataan viiden vuoden välein ja Pohjois-Lappi kymmenen vuoden välein. Ohjelman mukaiset kuvaukset alkoivat vuonna 2016 ja ortokuva-aineisto jaetaan nykyisin avoimena datana kaikkien tarvisijoiden käyttöön. Tilajaorganisaatiot hyödyntävät ilmakuvia eri tarpeisiin. MML päivittää Maastotietokantaa kuvien perusteella, kun taas Mavi ylläpitää ilmakuvien avulla peltolohkokorekisteriä. Näitä tarpeita varten ilmakuvaukset kohdistuvat keväälle. SMK käyttää ilmakuvia taas metsävaratietojen keruuseen, mitä varten ilmakuvaukset ajoitetaan kesäajalle (MML 2016). Ilmakuvausohjelman vuosirotaatioissa (kuva 1) kukin kuvattava alue vuorottelee kevät- ja kesäkuvausten välillä.

Tässä kehittämishankkeessa käytettiin aineistona 2016 alkaneen kuvausohjelman ortokuvia sekä kuvausohjelman käynnistymistä edeltäneiltä vuosilta MML:ltä ladattavia muita ortokuvia, jotka edellä mainitut organisaatiot ovat tarvitsemiltaan alueiltaan hankineet (MML 2016).

Ortokuva on karttaprojektioon oikaistu ilmakuvamosaikki, josta on poistettu maaston korkeuseroista johtuvat mittakaavaerot (Haggrén & Honkavaara 2002). MML:n (2018) mukaan ortokuvien tarkkuus riippuu muun muassa ilmakuvauksessa käytetystä sensorista, kuvauskorkeudesta ja ennen kaikkea ortokuvan laskennassa käytetystä korkeusmallista. Sijaintitarkkuus ortokuvissa on 0,5–2 m. Ortokuvat ovat saatavilla tosivärikuvina (sisältää tiedon kohteen heijastamasta punaisen, vihreän ja sinisen valon säteilystä) ja väärävärikuvina (sisältää tiedon kohteen heijastamasta lähi-infrapunan, punaisen ja vihreän valon säteilystä).



Kuva 1. Kuvauspäivämäärältään sopivien vääräväri-ilmakuvien kattavuus vuosina 2012–2017 ja kansallisen ilmakuvausohjelman vuosirotaatio.

## 2.2 Soveltuvien ilmakuvatulkintamenetelmien arviointi

Hankkeen alussa kokeiltiin eri tulkintamenetelmiä vesikasvillisuuden kokonaispinta-alan selvittämiseksi kansallisen kuvausohjelman ortokuva-aineistosta. Tulkintamenetelmän valintaan vaikuttivat useat reunaehdot. Hankkeessa kehitettävää sovellusta varten ei voida optimoida kuvausolosuhteita vesikasvillisuuden kannalta (Valta-Hulkkonen ym. 2003b), koska ilmakuvauusohjelman kuvat on lähtökohtaisesti tuotettu muita tarpeita varten. Lisäksi tavoitellussa sovelluksessa ei kerätä maastoaineistoa tulkintojen tueksi ja validoimiseksi, sillä kuvausten tarkkoja ajankohtia ei tiedetä etukäteen ja mittava maastoponnistus jokaisella tulkittavalla järvellä tekisi kustannustehokkaan menetelmän lähtökohdaltaan epärelevantiksi. Näin ollen menetelmän tuli pohjautua vesikasvillisuuden visuaalisen tulkintaan, jossa tulkitsija tunnistaa, mitkä ilmakuvan kuvapikselit edustavat kasvillisuutta ja mitkä eivät. Visuaaliseen tulkintaan tukeutuessaankin menetelmän tulisi olla mahdollisimman ”objektiivinen”, jolloin ihmissilmin tehtävää tulkintaa ja harkintaa tulisi pystyä minimoimaan. Näiden lähtökohtien vuoksi ilmakuvatulkinnan tarkkuustasoksi valittiin tässä sovelluksessa kasvillisuuden karkea luokittelu tasolle ”rantakasvillisuus” ja ”varsinainen vesikasvillisuus”, minkä lisäksi eri luokkaan luokitellaan vapaan veden alue. Vastaavaa tulkintatasoa oli käytetty myös aiemmissa sovelluksissa (Vallinkoski ym. 2004).

Hankkeen tavoitteena oli myös luoda kustannustehokas tulkintamenetelmä. Tämän vuoksi tulkintaprosessin tulisi olla mahdollisimman pitkälle automatisoitu ja prosessointiaikojen tulisi olla mahdollisimman lyhyitä.

Potentiaalisia tulkintamenetelmiä kokeiltiin seuraavilla paikkatieto-ohjelmistoilla: ArcGIS Desktop 10.5.1 (myöhemmin ArcGIS), Erdas Imagine 2015 (myöhemmin ERDAS) ja eCognition Essentials 1.3.1 (myöhemmin eCognition).

Ohjattua Maximum Likelihood -luokittelijaa (jota ovat käyttäneet aiemmin mm. Valta-Hulkkonen ym. 2003a, b) testattiin ArcGIS:llä Maximum Likelihood Classification -toiminnolla. Kyseinen luokittelija vaatii käyttäjältä paljon työpanosta etukäteen tehtävässä opetusalueiden kattavassa paikantamisessa – varsinkin, jos epäonnistuneen luokittelun takia käyttäjä joutuu tekemään sen useita kertoja. Opetusalueiden perusteella tehty informaatio luokitteluperusteista on

tallennettavissa signature file-tiedostoiksi, jonka avulla luokittelun ”päättössäännöt” olisivat periaatteessa valmiina laajennettavissa järveltä toiselle. Tehtyjen kokeilujen perusteella luokittelua ei kuitenkaan pystytty onnistuneesti siirtämään tällä tavalla. Kuvausolosuhteiden ja geometrian muutosten tulisikin olla normalisoituna eri kuvausten välillä, jotta tämä lähestymistapa toimisi.

Ohjaamattoman luokittelua testattiin Erdasin Unsupervised Classification -toiminnolla. Kyseessä on K-keskiarvon ryhmittelyalgoritmi, joka pyrkii ryhmittelemään pikselit keskiarvoltaan mahdollisimman paljon toisistaan poikkeaviin ryhmiin. Lisäksi ohjaamatonta luokittelua testattiin ArcGIS:n Iso Cluster Unsupervised Classification -toimintoa, jonka algoritmi on samalainen kuin edellisessä sillä erolla, että ryhmien lukumäärä voi erota käyttäjän asettamasta luokkamäärästä, mikäli luokkien keskustat ovat hyvin lähellä toisiaan.

Ohjaamaton luokittelu joudutaan tekemään suureen määrään luokkia, jotta elomuotoluokat pystytään kaikkine spektrisine vaihteluineen erottelemaan. Suuri määrä luokkia toisaalta kasvattaa prosessointiaikoja kymmeniin minuutteihin ja työllistää käyttäjää lukuisien luokkien tulkitsemisena ja nimeämisenä. Suuresta luokkamäärästä huolimatta ohjaamaton luokittelu tuottaa ongelmallisia ”väliinputoajaluokkia” (esimerkiksi samaan luokkaan kuuluva varjojen ulkoreunat ja kasvillisuuden ja veden vaihteluvyöhyke), joita ei ole mielekästä nimetä mihinkään elomuotoluokkaan. ArcGIS:llä tehdyissä kokeiluissa huomattiin, että vaikka prosessin nopeuttamiseksi yhdellä järvellä tehtyä luokittelua pystyttiin siirtämään myös muille järville, poikkesivat eri numeroarvoille koodatut luokat järvien välillä, jolloin työläs luokkien tulkinta ja nimeäminen on suoritettava uudelleen.

Objektipohjaisen luokittelemisen ensimmäinen vaihe on kuvan segmentointi. Sitä testattiin eCognitionin *Multispectral Segmentation* -toiminnolla ja ArcGIS:n *Segment Mean Shift* -toiminnolla. Visuaalisesti arvioiden segmentointi vaikutti löytävän vedessä olevat kohteet ja näiden aiheuttamat vaihtelut varsin hyvin. Ongelmallisimpia olivat varjoalueet, jotka olivat vain tarkalla segmentointiparametrien valinnalla eroteltavissa vapaan veden pikseleistä. Kullekin järvelle optimaalisissa parametreissa on kuitenkin eroa ja niiden kokeileminen on työlästä. Ohjelmistoista eCognition osoittautui lupaavammaksi nopeampana ja paremmin vedessä olevia kohteita erottelevana. Ohjelmiston Developer-versio, jolla luokiteltu rasterikuva saadaan

eksportoitua paikkatietotiedostona, on kuitenkin kallis erikoisohjelma.

Segmentoinnin jälkeen objektipohjaisessa luokitteluprosessissa seuraa nimettyjen tukialueiden muodostaminen ja ohjattu luokittelu. ArcGIS mahdollistaa myös ohjaamattoman luokituksen klusterointitoiminnolla suoraan segmenteille. Onnistunein luokittelu eCognition-ohjelmistolla tehtiin *Support Vector Machine* -luokittelualgoritmillä.

NDVI-arvojen kynnystämisen lisäksi hankkeessa testattiin myös muita kanvasuhteisiin perustuvia indeksejä, kuten GNDVI, ENDVI, GIPVI ja GRVI (Strong ym. 2017). Näissä indekseissä hyödynnettiin paikoin myös kuvausohjelmassa tuotettujen tosiärikuvien sinisen värin aallonpituusalueita. Sinisen kanavan käytöllä on potentiaalia pohjaheijastumien ja uposkasvillisuuden huomioimisessa, koska sininen valo tunkeutuu muita aallonpituuksia syvemmälle veteen. Vaihtoehtoisten indeksien käyttö ei tuonut lisäarvoa elomuotojen luokittumisen onnistumiseen.

## 2.3 Valittu menetelmä - NDVI-kynnystys

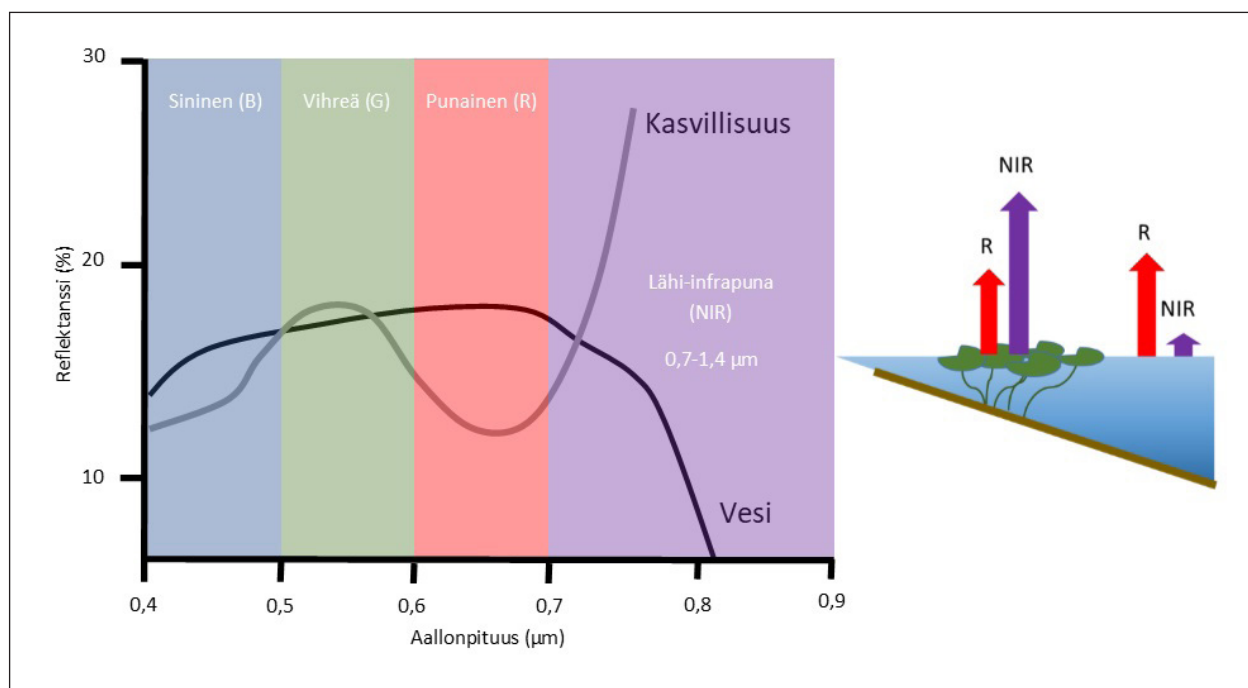
Potentiaalisten tulkintamenetelmien vertailussa kasvillisuusindeksi NDVI:n kynnystys osoittautui käytökelpoisimmaksi tulkintamenetelmäksi valittua tarkoitusta varten. Kynnystyksellä tarkoitetaan luokkien

erottelemista jatkuvavasta muuttujasta asettamalla luokkien välille raja-arvot. Menetelmän etuna muihin kokeiltuihin menetelmiin verrattuna olivat hyvin lyhyet prosessointiajat ja suhteellisen vähäinen tarve käyttäjän manuaaliselle työpanokselle. Lisäksi NDVI osoittautui muita menetelmiä vähemmän herkäksi rantapuuston varjojen aiheuttamalle väärinluokittumiselle.

NDVI lasketaan lähi-infrapunasäteilyn (NIR) ja punaisen värin (R) aallonpituusalueiden suhteena kaavalla  $(NIR - R) / (NIR + R)$ . Indeksi kuvaa lehtivihreän määrää kasvien klorofyllin absorboidessa voimakkaasti punaista valoa ja heijastaessa lähi-infrapuna (kuva 2).

NDVI-rasterin laskeminen väärävärikuvasta on prosessointiajaltaan minimaalinen. Erilaisista kuvausolosuhteista ja järvivesien erilaisesta koostumuksesta johtuen kasvillisuuden luokitteluun ei voida kuitenkaan asettaa yleisiä NDVI:n kynnysarvoja, vaan käyttäjä joutuu tapauskohtaisesti tulkitsemaan ilmakuvaa vasten sopivimmat NDVI-kynnykset. Tämäkin on suhteellisen kevyesti käyttäjää työllistävää – etenkin pienillä järvillä, joiden kuvissa on vähemmän sävyerojen vaihtelua.

MML:ltä ladattava ortokuvakin saattaa koostua eri olosuhteissa kuvatuista kuvista. Näin ollen elomuodot erottavat kynnysarvotkin voivat vaihdella järven eri osissa ja se tuo valittuun lähestymistapaan lisätyötä NDVI-rasterin paloittelun, jokaisen palan tapauskoh-



Kuva 2. Kasvillisuuden ja veden heijastaman sähkömagneettisen säteilyn vaihtelu eri aallonpituusalueilla ja periaatekuva veden ja vesikasvillisuuden heijastaman punaisen ja lähi-infrapunaisten säteilyn tasoeroista, joihin NDVI pohjautuu.

taisen kynnystämisen ja kynnystettyjen tulorasteripalojen yhdistämisen kautta.

Käytännössä NDVI-kynnystyksellä voidaan vesialueella erotella vedestä ainoastaan veden pinnan yläpuolinen (ilmaversoinen ja kelluslehtinen) tai aivan vedenpinnan tasolle yltävä uposlehtinen kasvillisuus. Upoksissa kasvavasta kasvillisuudesta tai pohjaruusuksina kasvavista lajeista ei saada tietoa.

NDVI-kynnystykseen pohjautuva, hankkeessa kehitetty ilmakuvien prosessointiketju on esitetty kokonaisuudessaan tämän raportin liitteessä a.

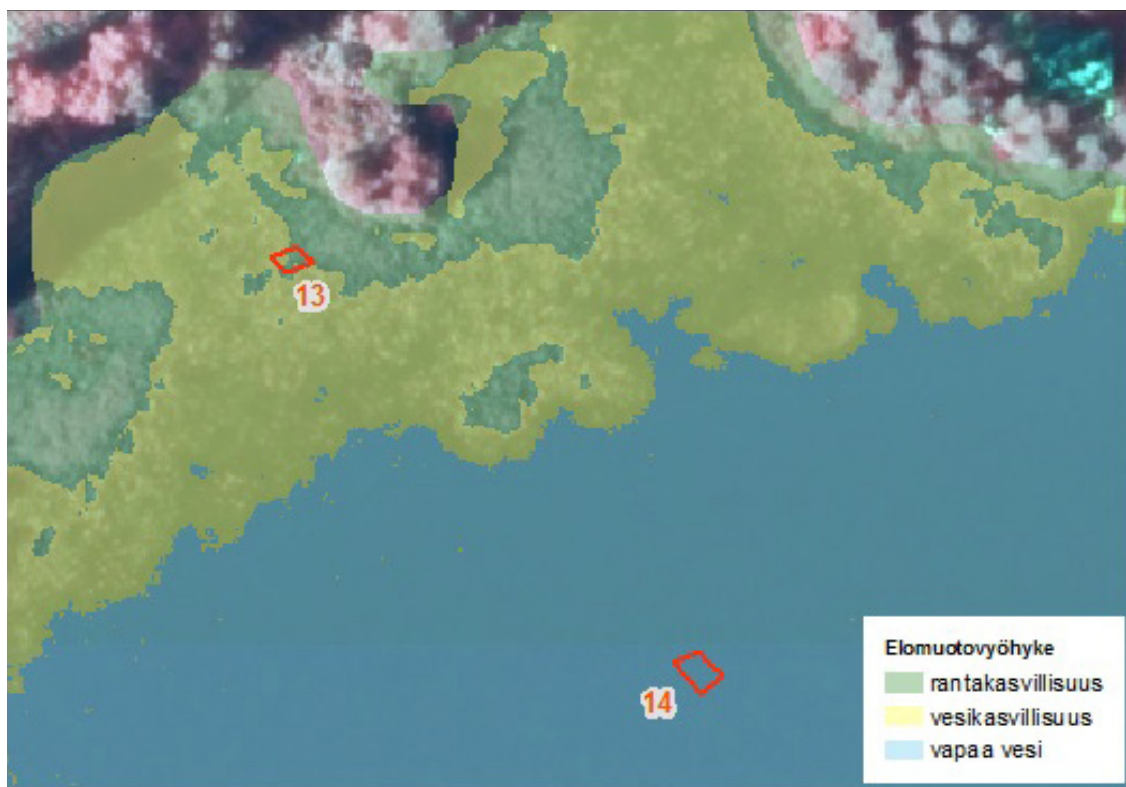
## 2.4 Tulkintamenetelmän (NDVI) validointi aiemmin kerätyllä vesikasvillisuus-seuranta-aineistolla

Tulkintamenetelmä validoitiin vertaamalla NDVI-kynnystettyjä rastereita (luokittelukarttoja) vesikasvillisuuden seuranta-aineistosta päävyöhykelinjä-aineistosta (maastomenetelmän yksityiskohdat kts. Kuoppala ym. 2008) saatuun kenttätotuuteen. Vyöhyketietoja ja valokuvia sisältäneestä vuosien 2012–2014 linjaseu-

ranta-aineistosta kerättiin aluemainen paikkatietoaineisto, joka oli luokiteltu veteen, vesikasvillisuuteen ja rantakasvillisuuteen (kuva 3). Aineistona oli 13 järveä, joilta tulkitut ilmakuvat ja maastoaineisto olivat samalta tai lähivuodelta.

Validointia varten järvien orto-oikaistut väärävärikuvat kynnystettiin yksillä kynnyksillä kolmeen luokkaan (rantakasvillisuus, vesikasvillisuus, vesi). Ortokuvien sisältämien sävyvaihteluiden takia kynnysten valinnassa pyrittiin silmämääräisesti mahdollisimman tasapuoliseen ali- ja yliuokittumiseen. Kynnystetyt rasterit ristiinluettiin validointialueita vasten ArcGIS:n Tabulate Area -työkalulla.

Järvikohtaisesti tarkasteltuna (taulukko 1) onnistunein luokittelu oli Keiteleän Sulkavanjärvellä (järvitunnus 14.734.1.003), jossa validointialueet luokittuivat täysin oikein. Heikoin tulos oli Kiuruveden ja Piela-veden Sulkavajärvellä (04.554.1.001) 69,6 prosentin oikeinluokittumisella. Syynä heikolle tulokselle on ilmakuvan radiometriset eroavaisuudet suhteellisen suuren järven eri osissa. Kokonaisuudessaan 13 järven kaikki validointialueet (200 kpl) luokittuivat oikein 85,7 prosenttisesti, mikä on kaukokartoitussovellukselle varsin hyvä tulos. Rajatessa pois varjossa olevat validointialueet (9 kpl) oikeinluokituksen osuus kasvoi hieman (88,1 %: taulukko 1).



Kuva 3. Esimerkki tulkinnan validointiaineistosta. NDVI-kynnystetty luokitusrasterikartta ja linjaseuranta-aineistosta muodostetut validointipolygonit Suuri Ruokoveden linjalla 8. Validointialue 13 on maastoaineiston perusteella vesikasvillisuutta ja luokituu oikein 38 %:sti (loppu alueesta luokituu rantakasvillisuudeksi tässä tulkinnassa). Validointialue 14 on maastoaineiston perusteella vapaata vettä ja luokituu oikein 100 %:sti.



Taulukko 1. Järvi ikohtainen luokittelun onnistuminen (kolme luokkaa) suhteessa kenttätotuuteen (linjaseuranta-aineistoon perustuvat validointialueet) 13 järvellä.

Järvi	Järvinumero	A) Kaikki validointialueet		B) Validointialueet, pois lukien varjoiset alueet	
		Validointialueet, lkm	Onnistuneesti luokiteltu, %	Validointialueet, lkm	Onnistuneesti luokiteltu, %
Hernejärvi	04.581.1.021	20	89,7	19	100,0
Hirvijärvi	04.281.1.029,	16	91,9	13	92,1
Iso-Melanen	59.333.1.005	7	72,1	7	72,1
Iso ja Pieni Siikajärvi	61.721.1.014	12	99,5	12	99,5
Jonkeri	04.442.1.001	9	98,0	9	98,0
Kakkisenjärvi	14.727.1.023	7	75,7	5	82,8
Kivesjärvi	59.351.1.002	15	75,1	14	74,9
Sulkavanjärvi	04.554.1.001	22	69,6	22	69,6
Sulkavanjärvi	14.734.1.003	18	100,0	18	100,0
Suuri Ruokovesi	04.281.1.001	36	92,3	36	92,3
Valkeinen	04.282.1.001	12	86,7	12	86,7
Varpanen	04.287.1.013	17	83,8	15	88,7
Vimpelinlahti	59.337.1.002	10	96,6	10	96,6
<b>Kaikki järvet</b>		<b>200</b>	<b>85,7</b>	<b>191</b>	<b>88,1</b>

Taulukko 2. Luokakohtainen (3 luokkaa) luokittelun onnistuminen suhteessa kenttätotuuteen (linja-seuranta-aineistoon perustuvat validointialueet) 13 järvellä.

A) Validointialueet, kaikki, n=200		Ilmakuvatulkinnalla luokiteltu			
Kenttätotuus	Luokka	Rantakasvillisuus	Vesikasvillisuus	Vapaa vesi	
	Rantakasvillisuus	77,8 %	22,2 %	0,0 %	
	Vesikasvillisuus	5,3 %	73,4 %	21,4 %	
	Vapaa vesi	0,0 %	0,5 %	99,5 %	
B) Validointialueet, pl. varjoiset, n=191		Ilmakuvatulkinnalla luokiteltu			
Kenttätotuus	Luokka	Rantakasvillisuus	Vesikasvillisuus	Vapaa vesi	
	Rantakasvillisuus	99,9 %	0,1 %	0,0 %	
	Vesikasvillisuus	5,3 %	73,5 %	21,2 %	
	Vapaa vesi	0,0 %	0,5 %	99,5 %	

Taulukossa 2 on esitetty kuinka kolmea eri luokkaa edustaneet validointiaineistot keskimäärin luokittuivat 13 järven aineistossa. Ideaalitilanteessa taulukon ei-diagonaaliset solut olisivat nollia, mutta koska luokittelija ei ole osannut luokitella kaikkia pikseleitä oikein, on diagonaalin vasemmalla puolella yliuokittuneiden pikseleiden osuus, oikealla taas aliluokittuneiden. Vapaata vettä edustaneet validointialueet luokittuivat lähes täydellisesti. Ranta- ja vesikasvillisuutta edustaneilla alueilla taas tapahtui enemmän väärinluokittumista – rantakasvillisuus luokiteltiin vesikasvillisuudeksi ja vesikasvillisuus enimmäkseen vesialueeksi (taulukko 2 A). Varjoista aiheutuva väärinluominen näkyy, kun tarkastelusta rajataan pois varjossa olevat validointialueet: rantakasvillisuutta edustavat validointialueet luokiteltuvat silloin lähes täysin oikein (taulukko 2 B).

Tulkintamenetelmän luokittelukykyä tarkasteltiin myös siten, että ranta- ja vesikasvillisuutta käsiteltiin yhteisenä kasvillisuusvyöhykkeenä (taulukko 3). Tällä luokituksen tasolla (vesi vs. kasvillisuus) tulkintamenetelmä luokittelun onnistuminen oli varsin hyvä. Kasvillisuutta edustavat validointialueet sisältävät jossain määrin vapaaseen veteen luokittuneita pikseleitä eli kasvillisuuden todellinen kokonaispinta-ala hieman aliluokituu menetelmällä. Varjoisien validointialueiden poistamisella ei ole juuri vaikutusta luokituksen onnistumiseen (taulukko 3 B), sillä varjojen merkittävien vaikutus on rantakasvillisuuden luokittuminen vesikasvillisuudeksi ja nämä luokat oli tässä tarkastelussa yhdistetty.

Taulukko 3. Luokakohtainen (2 luokkaa – kasvillisuusluokat yhdistetty) luokittelun onnistuminen suhteessa kenttätotuuteen (linja-seuranta-aineistoon perustuvat validointialueet) 13 järvellä

A) Validointialueet, kaikki, N=200		Ilmakuvatulokinnalla luokiteltu		
Kenttätotuus	Luokka	Kasvillisuus	Vapaa vesi	
	Kasvillisuus	83,2 %	16,8 %	
	Vapaa vesi	0,5 %	99,5 %	
B) Validointialueet pl. varjoiset, N=191		Ilmakuvatulokinnalla luokiteltu		
Kenttätotuus	Luokka	Kasvillisuus	Vapaa vesi	
	Kasvillisuus	82,6 %	17,4 %	
	Vapaa vesi	0,5 %	99,5 %	

## 2.5 Validointi hankkeen aikana kerätyllä maastototuusaineistolla

Kahdelta järveltä kerättiin suora maastomittausaineisto luokituksen validoimiseksi kesällä 2017. Maastomittaukset tehtiin tarkalla GPS-laitteella (Trimble GeoXT-sarjan laite) kahlaten tai veneellä soutamalla kiertäen muutaman metrin halkaisijaltaan olevia mahdollisimman homogeenisia kasvillisuuden tai vapaan veden alueita (kuva 4). Ensimmäinen järvistä oli Jukajärvi (04.176.1.001) Juvalla, joka oli ilmakuvattu elokuussa 2016. Jukajärvi on melko kirkasvetinen järvi ja lähtökohtaisesti haasteellinen tulkittava, sillä sen ilmakuva sisälsi voimakkaita hiekkapohjan heijastuksia. Maastoaineiston kerääminen keskittyi häiriöisille alueille ja

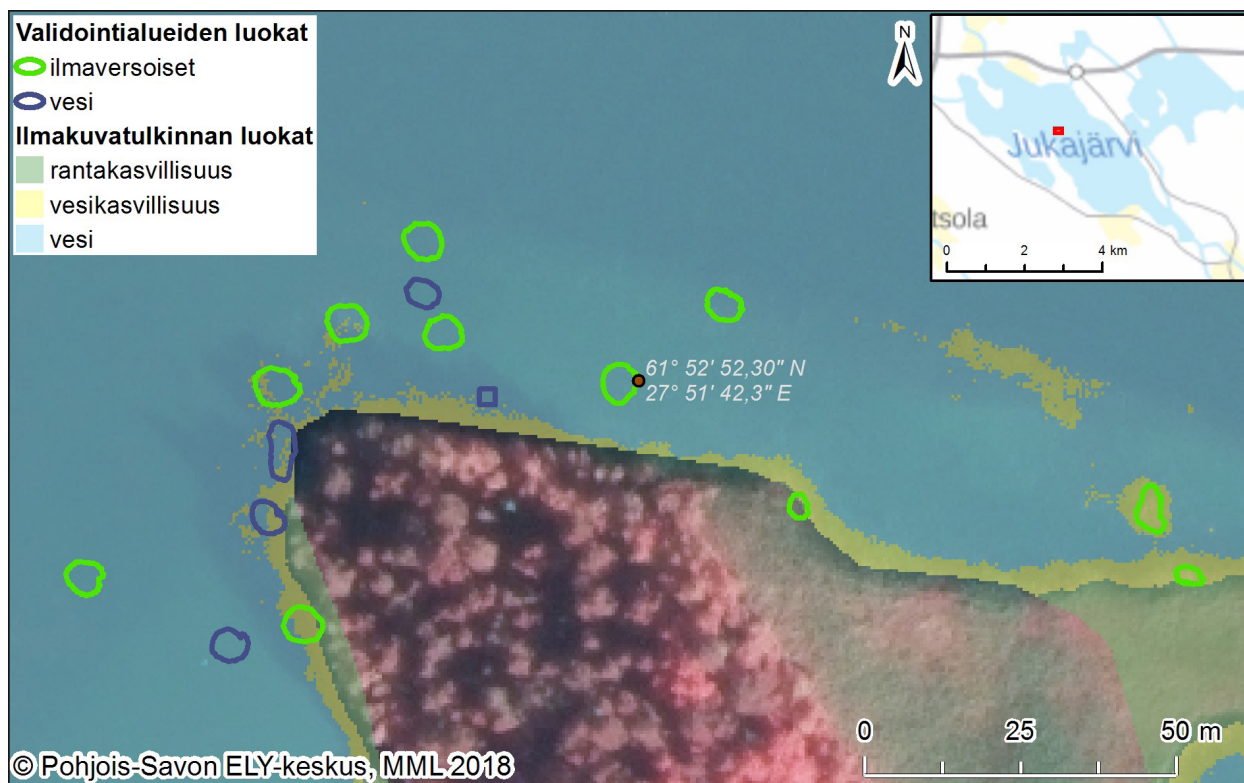
tarkoituksena oli nimenomaan selvittää, voidaanko kasvillisuudesta saada tietoa tällaisessa lähtökohtaisesti hankalassa tapauksessa.

Toisena järvenä oli Leppävirralla sijaitseva Suurijärvi (04.271.1.057). Se on keskiumuksinen, mesotrofinen järvi, jossa ilmaversoisen ja kelluslehtisen kasvillisuuden vyöhykkeet ovat hyvin kehittyneet. Suurijärvi ilmakuvattiin kesällä 2017.

Tulkintamenetelmällä ei pystytty luokittelemaan oikein Jukajärven haasteellisia validointialueita (taulukot 4-5). Tämä on linjassa aikaisempien tutkimusten kanssa, joissa on huomattu ilmakuvatulokinnan soveltuvan heikosti harvan kasvillisuuden kartoittamiseen voimakkaisten pohjaheijastusten järvillä (Leka ym. 2003).



Kuva 4. Esimerkki harvan ruovikon (*Phragmites australis*) validointialueesta Jukajärvellä. Kehikko (0,5 x 0,5 m) mukana valokuvassa mittakaavan vuoksi. Kukin validointialue oli laajempi GPS:llä mitattu alue (kts. kuva 5). Kuva: Maj Rasilainen.



Kuva 5. Validointialueiden luokitus suhteessa ilmakuvatulkinintaan Jukajärven Kalliosaaren edustalla. Kuva 4 on otettu kartalla näkyvästä koordinaattipisteestä.

Taulukko 4. Luokakohtainen luokittelun onnistuminen (kolme luokkaa) suhteessa kenttätotuuteen Jukajärvellä.

A) Validointialueet, kaikki, N=54		Ilmakuvatulkinnalla luokiteltu			
Kenttätotuus	Luokka	Rantakasvillisuus	Vesikasvillisuus	Vapaa vesi	
	Rantakasvillisuus	100,0 %	0,0 %	0,0 %	
	Vesikasvillisuus	1,3 %	39,7 %	59,0 %	
	Vapaa vesi	0,0 %	19,6 %	80,4 %	
B) Validointialueet, pl. varjoiset, N=48		Ilmakuvatulkinnalla luokiteltu			
Kenttätotuus	Luokka	Rantakasvillisuus	Vesikasvillisuus	Vapaa vesi	
	Rantakasvillisuus	100,0 %	0,0 %	0,0 %	
	Vesikasvillisuus	1,3 %	40,5 %	58,2 %	
	Vapaa vesi	0,0 %	17,5 %	82,5 %	

Taulukko 5. Luokakohtainen luokittelun onnistuminen (kaksi luokkaa – kasvillisuusluokat yhdistetty) suhteessa kenttätotuuteen Jukajärvellä.

A) Validointialueet, kaikki, N=54		Ilmakuvatulkinalla luokiteltu		
Kenttätotuus	Luokka	Kasvillisuus	Vapaa vesi	
	Kasvillisuus	41,5 %	58,5 %	
	Vapaa vesi	19,6 %	80,4 %	
B) Validointialueet, pl. varjoiset, N=48		Ilmakuvatulkinalla luokiteltu		
Kenttätotuus	Luokka	Kasvillisuus	Vapaa vesi	
	Kasvillisuus	42,3 %	57,7 %	
	Vapaa vesi	17,5 %	82,5 %	



Suurijärven maastoaineisto koostui 30:stä vesikasvillisuutta (lähinnä kelluslehtisiä) ja yhdestä vapaata vettä edustaneesta validointialueesta. Suurijärven ilmakuvatulkinta kärsi varjoista johtuvista väärinluokittumisista – tämän järven kohdalla vaikutus oli epätyypillisempää vapaan veden pikseleiden ylikuokittumista kasvillisuudeksi (kuva 6, oikea puoli). Validointitulokset osoittivat myös vesikasvillisuuden huomattavaa ylikuokittumista rantakasvillisuudeksi (taulukko 6 ja

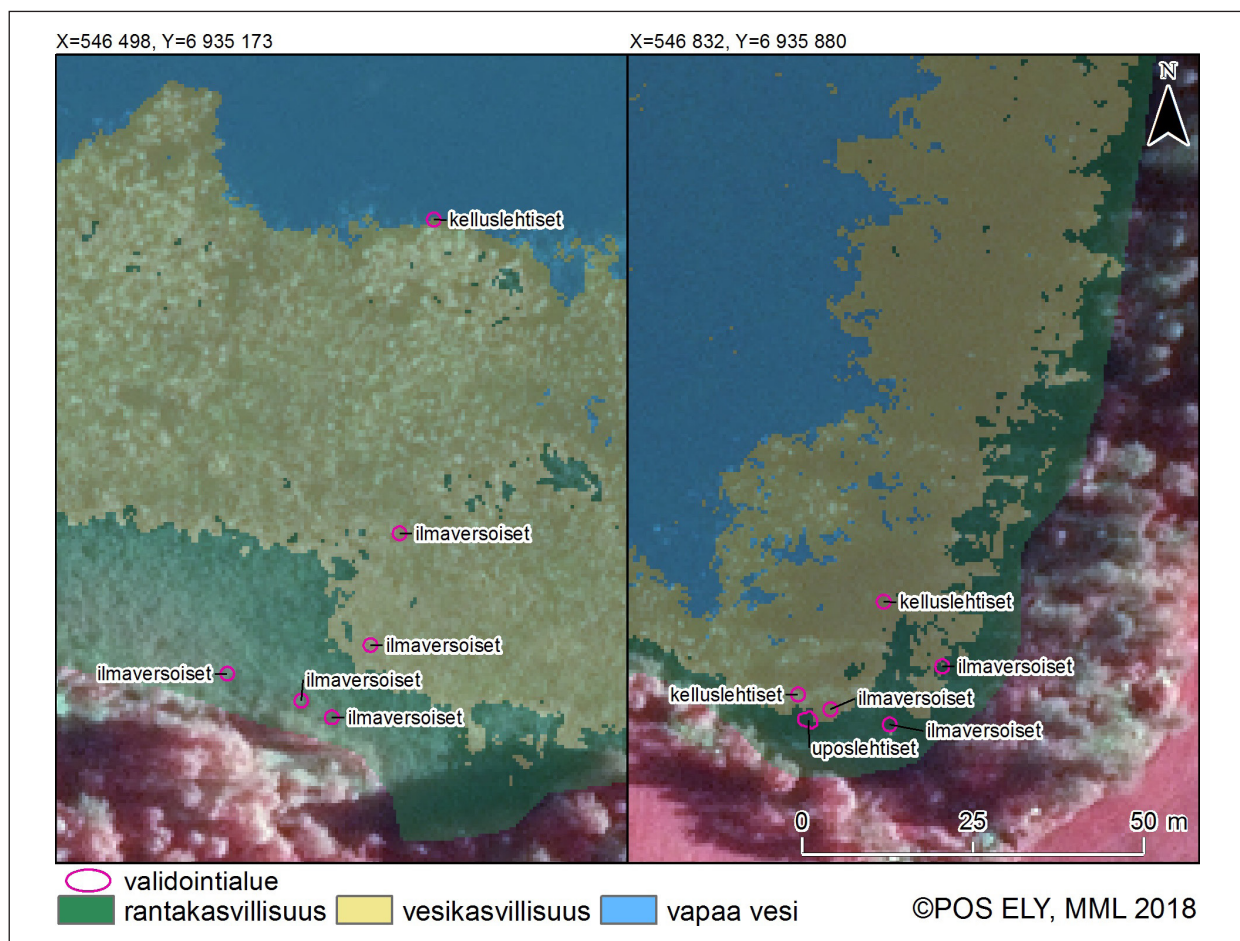
kuva 6, vasen puoli). Kasvillisuuden ja vapaan veden luokittumisen onnistumisesta ei voida tehdä juurikaan johtopäätöksiä, sillä vapaan veden validointialueita oli vain yksi kappale. Tämä johtui siitä, että järveltä puuttuivat lähes kokonaan matalan rantavyöhykkeen kasvillisuudesta vapaat alueet, joista olisi ollut mielekästä kerätä vapaan veden validointialueita maastossa vastaavasti kuin Jukajärvellä.

Taulukko 6. Luokakohtainen luokittelun onnistuminen suhteessa kenttätotuuteen Suurijärvellä.

Validointialueet, kaikki, N=31		Ilmakuvatulkinnalla luokiteltu			
Kenttätotuus	Luokka	Rantakasvillisuus	Vesikasvillisuus	Vapaa vesi	
	Vesikasvillisuus	28,3 %	63,6 %	8,0 %	
	Vapaa vesi (n=1)	100,0 %	0,0 %	0,0 %	

Validointialueet, pl. varjoiset, N=21		Ilmakuvatulkinnalla luokiteltu			
Kenttätotuus	Luokka	Rantakasvillisuus	Vesikasvillisuus	Vapaa vesi	
	Vesikasvillisuus	15,6 %	72,4 %	12,0 %	
	Vapaa vesi (n=1)	100,0 %	0,0 %	0,0 %	



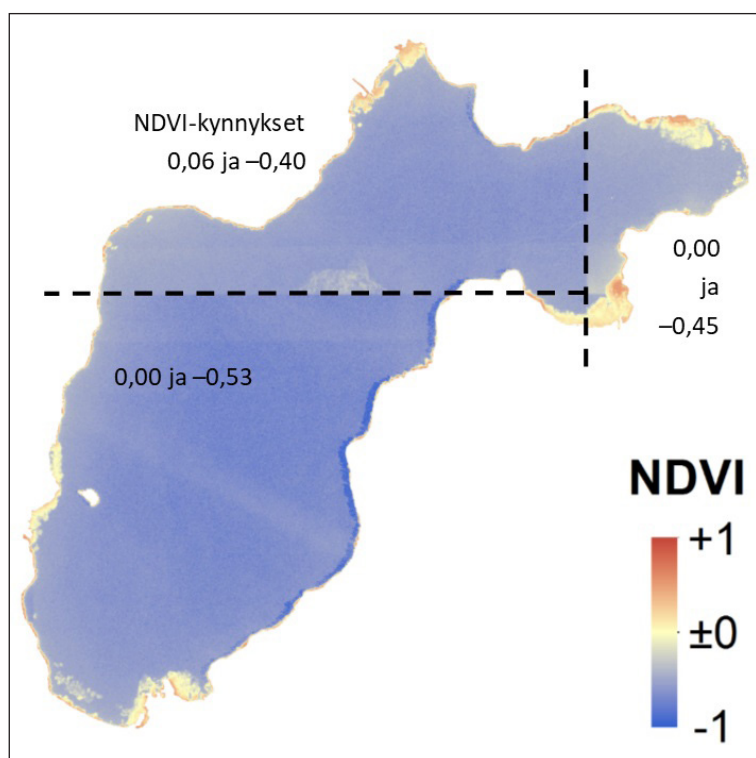
Kuva 6. Suurijärven ilmakuvatulkinta ja validointialueet kahdesta järven eri osasta.

## 2.6 Paikallisten kynnysten soveltaminen

Maanmittauslaitoksen kautta ladattaviin ortokuvuihin on tehty radiometrinen korjaus valaistusolosuhteista johtuvien erojen (mm. erot auringon kulmassa) korjaamiseksi. Tästä huolimatta ortokuvien sisällä on sävyvaihtelua, joka hankaloittaa kokonaisten järvien luokittelemista samoilla NDVI-kynnyksillä. Neljällä validointijärvellä kokeiltiin paikallista kynnystämistä, jossa järven eri osiin asetettiin omat sopivat kynnykset (kuva 7). Kokeilu osoitti menettelyn parantavan luokittelun onnistumista merkittävästi (taulukko 7). Näin ollen tulkintamenetelmän prosessointiketjuun (liite a) on luotu valinnainen mahdollisuus leikata NDVI-rasteri osiin, kynnystää se osissa eri arvoilla ja tämän jälkeen yhdistää eri osat yhtenäiseksi luokittelukartaksi.

## 2.7 Tulkintamenetelmän validointi visuaalisella tarkastelulla

Vesikasvillisuuden päävyöhykelinja-aineistoa ei ole kattavasti käytettävissä Suomen järville tulkintamenetelmän validointia varten. Tämän vuoksi luokittumisen onnistumisen arviointivälineeksi kehitettiin ilmakuvan visuaalinen tarkasteleminen validointipisteissä. Pisteet tuotetaan ArcGIS:n Create Accuracy Assessment Points –toiminnolla. Lillesand ym. (2004: 289) antavat validoinnin ohjenuoraksi, että virhematriisiin tulisi sisällyttää vähintään 50 referenssipistettä jokaista kasvillisuus- tai maankäyttöluokkaa kohti. Tähän tukeutuen tulkintamenetelmässä luodaan 150 referenssipistettä ositetulla otannalla, jolloin pisteet ovat satunnaisesti valittuja, mutta aset-



Kuva 7. NDVI-kynnystämiseen käytetyt kynnyksarvot kolmessa eri osassa Kesijärveä. Ensimmäinen raja-arvo (luokkaa 0,00-0,06) on ranta- ja vesikasvillisuusluokkien välinen kynnyksarvo, toinen raja-arvo (-0,40- -0,53) on veden ja vesikasvillisuuden välinen kynnyksarvo.

Taulukko 7. Luokittumisen onnistuminen (%) järvillä, joilla luokittelu on tehty sekä A) samoilla kynnyksillä koko järvellä että B) paikallisilla kynnyksillä.

		Luokittumisen onnistuminen (%)	
Järvi	Validointiaineiston tyyppi	A) Samat kynnykset koko järven alueella	B) Paikallisesti valitut kynnykset
Iso-Melanen	linjaseuranta-aineisto	72,1	81,0
Jukajärvi	suora maastoaineisto	47,2	53,1
Kivesjärvi	linjaseuranta-aineisto	75,1	89,2
Sulkavanjärvi 04.554.1.001	linjaseuranta-aineisto	69,6	84,6



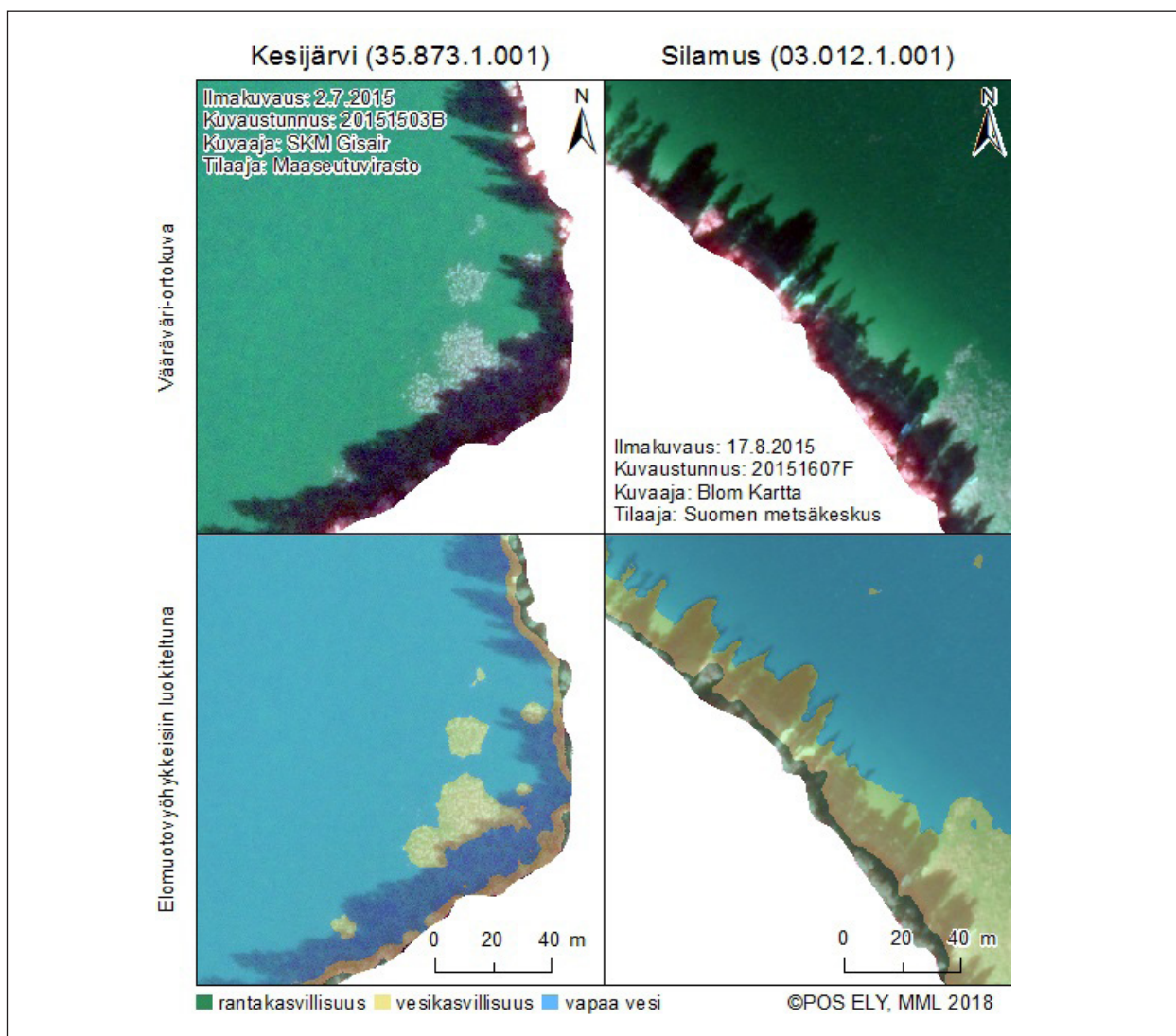
tuvat tasaisesti kuhunkin tulkinnalla tuotettavaan luokkaan (50 pistettä kussakin luokassa). Pisteiden tuottamisen jälkeen tulkitsija kirjaa pisteille referenssitiedon ("kenttätotuus") ilmakuvaa visuaalisesti tulkiten.

## 2.8 Tulkintamenetelmä varjomaskille

Vaikka NDVI-kynnystyksellä rantapuuston varjoista aiheutuva väärinluokittuminen on silminnähden vähäisempää kuin muilla menetelmillä, sitä kuitenkin esiintyy. Rantapuuston varjojen alla ilmakuvan pikselit luokittelevat virheellisiin kohdeluokkiin useammin kuin varjottomilla alueilla. Suunnaltaan väärinluokittuminen (kasvillisuus luokittelee vedeksi tai vapaa vesi kasvillisuudeksi) vaihtelee tapauskohtaisesti (kuva 8). Tässä hankkeessa ortokuvista pyrittiin määrittämään

varjomaski, jotta varjojen pinta-alasta voitaisiin laskea tulkitulle vesikasvillisuuden pinta-alalle virhemarginaali. Varjomaski on alue, jonka alla ei voida olla varjoja onko ko. alueella todellisuudessa kasvillisuutta vai vettä (tai onko havaittu kasvillisuus ranta- vai vesikasvillisuutta). Varjomaskia voidaan käyttää esim. muutostulkinnassa siten, että varjomaskien peittämät alueet jätetään eri ajankohtien välisen vertailun ja muutostulkinnan ulkopuolelle.

Shahtahmassebi ym. (2013) esittävät kaukokartoituksen pääasiallisina varjojen havaitsemisen tekniikkoina kynnystämistä, mallintamista, invarianttia värimallia ja varjoreliefiä. Koska Maanmittauslaitokselta ladattavat ortokuvat eivät sisällä tavanomaisen satelliittikuvan tavoin tietoa pikselien kuvausajasta tai aurinkokulmasta, ovat toisena ja neljäntenä mainitut tekniikat poissuljettuja. Tekem ym. (2014) käyttivät väärävärin kuvan väriavaruutta invarianttiin värimallin



Kuva 8. Rantapuuston varjojen vaikutus NDVI-kynnystyksellä tehtyyn luokitteluun: Kesijärvellä varjojen alla olevat ranta- ja vesikasvillisuuden alueet aliluokittelevat (eli luokittelevat virheellisesti vedeksi), mutta Silamuksella vapaan veden pikselit taas yliuokittelevat (eli luokittelevat virheellisesti kasvillisuudeksi)..

käyttöön perustuvassa varjojen havaitsemisessa. Sen mukaan satelliittikuvasta kaikki vesialueet luokitteivat tummina kohteina varjoiksi. Potentiaalisimmaksi vaihtoehtoksi jäi siis kynnystäminen, joka Shahtahmassebin ym. (2013) mukaan on tavanomaisin lähestymistapa varjojen havaitsemiseen. Se tarjoaa yksinkertaisen ja nopean ratkaisun, joka on toteutettavissa useimmilla kaupallisilla ja ei-kaupallisilla kaukokartoitusohjelmistoilla.

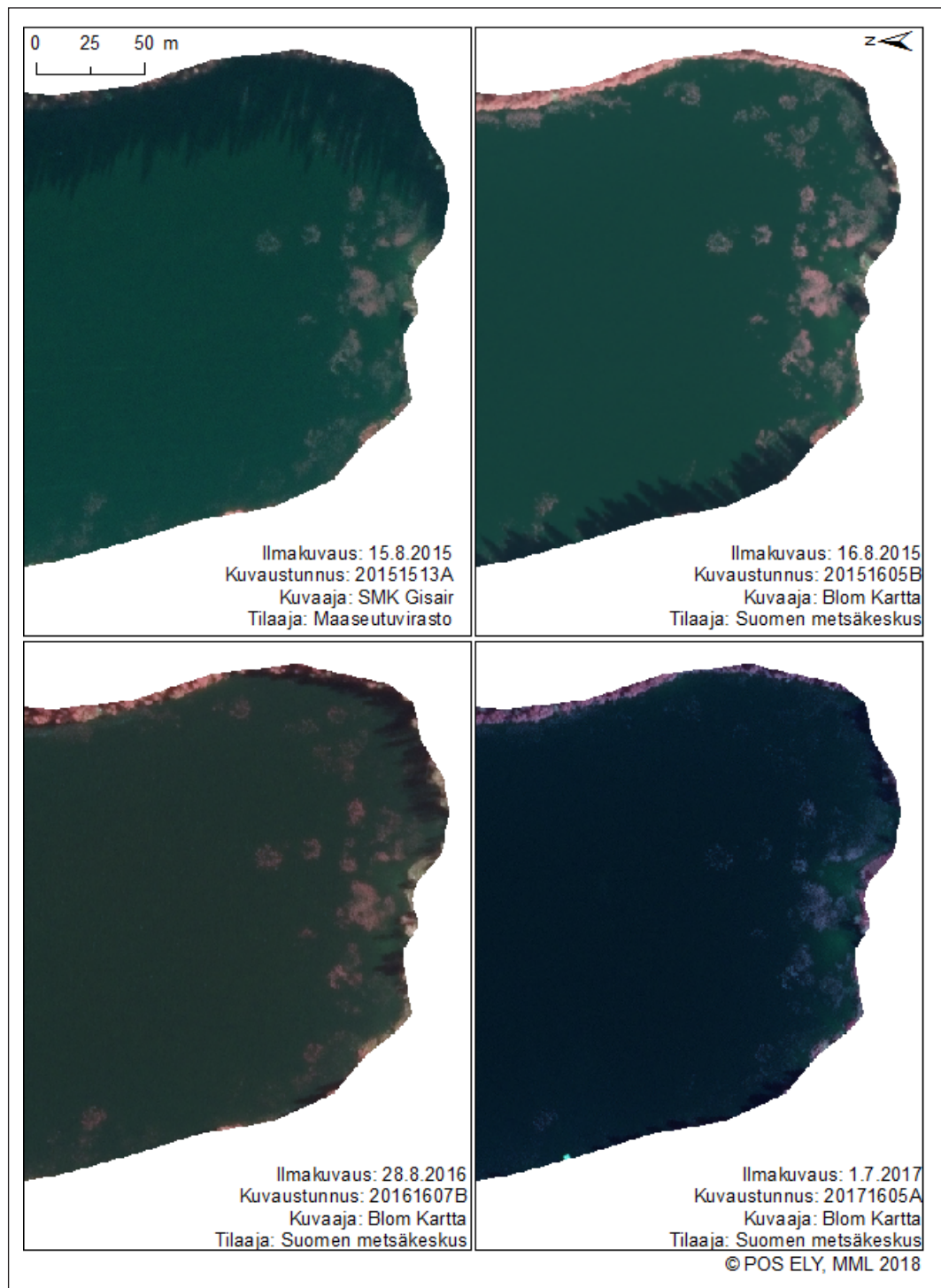
Eri kanavasuiteilla tehtyjen kokeilujen jälkeen Escadafalin ja Hueten (1991) kehittämä punaisuusindeksi  $RI = (R - G) / (R + G)$  osoittautui käyttökelpoiseksi lähtökohdaksi varjomaskin muodostamiseen. Suurella osalla käsitellyistä ortokuvista varjossa olevat pikselit saivat pienempiä RI-arvoja. Kynnystämistä varten asetelma on kuitenkin sama kuin NDVI:n kohdalla: universaaleja kynnystykseen sopivia arvoja ei voida määrittää, vaan käyttäjä joutuu valitsemaan tapauskohtaisesti sopivimman kynnysarvon varjomaskin luokitteluun varten. Ortokuvien sisällä olevien sävyvaihteluiden takia eri osat järvistä voi joutua kynnystämään omilla kynnysarvoillaan.

Shahtahmassebi ym. (2013) mainitsevat kynnystekniiikan käytön tyypillisimpänä ongelmana olevan kyvyttömyys erottaa varjoja kuvan muista tummista kohteista. Tämä pitää paikkaansa myös punaisuusindeksin kohdalla, sillä järvien selkävedet saavat myös usein matalia RI-arvoja. Tämän takia hankkeessa kehitettyyn ArcGIS-työkaluun on sisällytetty mekanismi, jossa kynnysarvolla suodatettu varjomaskirasteri muutetaan vektorimuotoiseksi ja sellaiset maskin kuviot, jotka sijaitsevat etäällä rantaviivasta, poistetaan maskista (liite a).

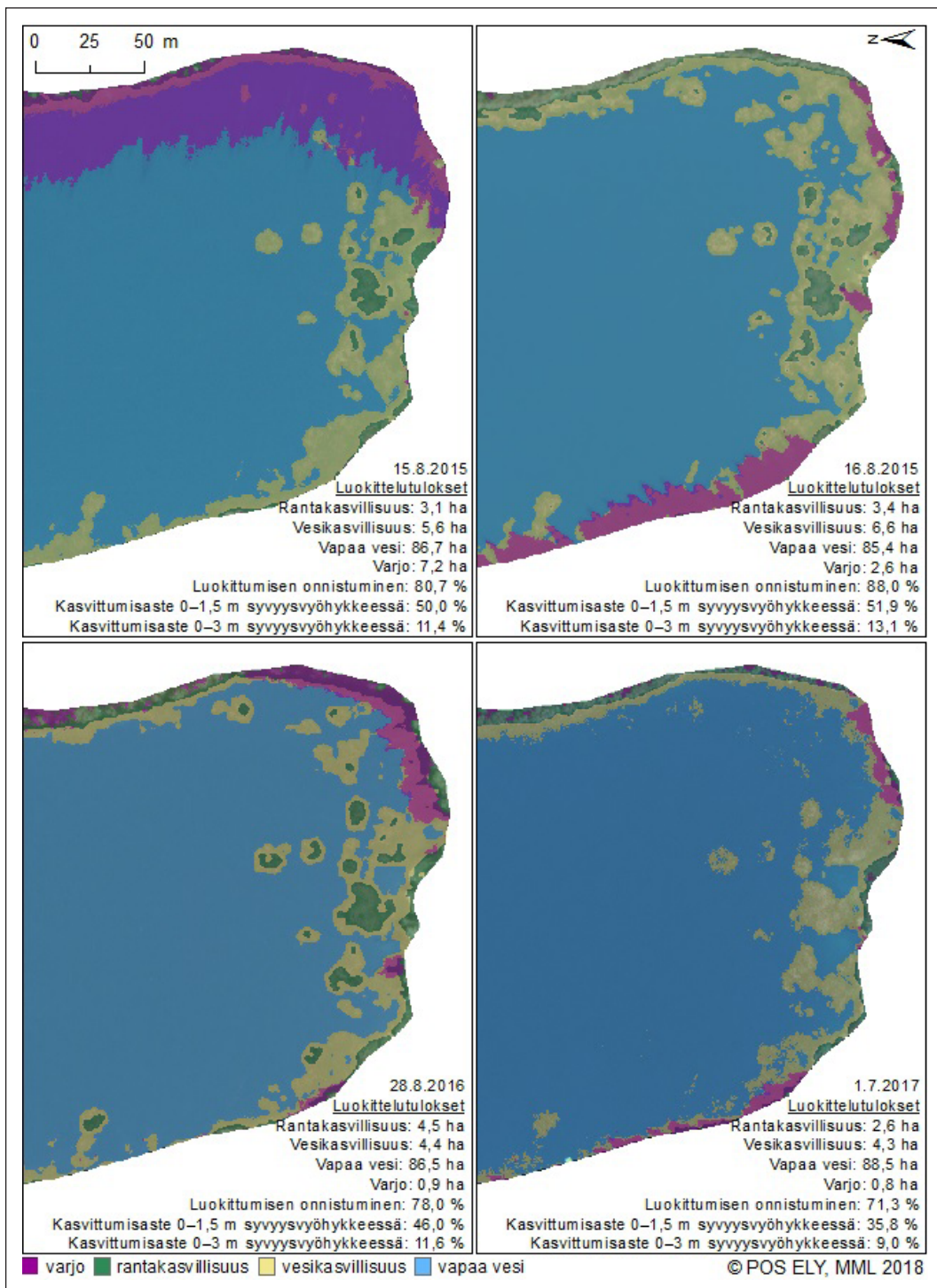
Suurelle osalle hankkeen aikana prosessoiduista järvistä varjomaski muodostettiin punaisuusindeksillä. Yksittäisille järville se ei kuitenkaan ollut erityistä käyttökelpoinen. Hankkeen kokeiluissa löytyi ainakin kaksi vaihtoehtoista käyttökelpoista menetelmää. Vimpelinlammelle (59.337.1.002, MML:n kuvaus 11.8.2015 klo 9.06–10.11) varjomaski pystyttiin muodostamaan kynnystämällä pääkomponenttianalyysillä prosessoitu yhden komponentin tulorasteri. Sompasella (14.121.1.001, MML:n kuvaus 3.7.2015 klo 9.37–10.09) ja Vainolanjärvellä (14.187.1.003, MML:n kuvaus 4.7.2015 klo 11.27–12.54) taas varjomaski tehtiin kynnystämällä väärävärivasta prosessoitu painottomaton harmaasävykuva. Joissain tapauksissa kaikki kynnystämiseen perustuneet kokeilut varjomaskin luomiseksi epäonnistuivat (esim. Pitkäjärvi 01.075.1.006, MML:n kuvaus 20.7.2014 klo 11.41–12.19).

## 2.9 Tulkintatulosten vertailu eri vuosien ja kuvaajien välillä

Eri vuosien kuvauksista tehtyjä tulkintoja verrattiin Toivaisjärvellä (04.552.1.013) ja Rytkynjärven pohjoisosassa, joilla oltiin vuosina 2015–2017 ilmakuvausta peräti neljä kertaa. Siinä missä Vallinkosken ym. (2004) tutkimuksessa käytetyssä tulkintamenetelmässä vuosien ja kuvaajien väliset erot olivat elomuotovyöhykkeiden pinta-aloissa minimaaliset, tämän hankkeen tarkasteluissa erot olivat suuremmat (kuvat 9-12). Varsinkin vuoden 2017 luokittelutuloksissa erot muuhin vuosiin olivat suuret, mutta selityksenä tälle löytyy aikaisempi kuvausajankohta (1.7.), mihin mennessä vesikasvillisuus ei ole vielä kehittynyt runsaimmilleen – etenkin kesän 2017 ollessa hyvin viileä. Tulkintojen vertailussa korostuu myös kuvausajankohdan vuorokaudenajan vaikutus: varhain aamulla (Mavin tilaama 2015) tai illalla (SMK:n tilaama 2015) otetuissa kuvissa rantapuuston varjot langettavat huomattavat varjot, jonka alla on huomattavissa silmiinpistävää väärinluokittumista. Toivaisjärven ja Rytkynjärven vertailuissa ei otettu huomioon mahdollisia eroja vedenkorkeuksissa ajankohtien välillä. Myös vedenkorkeus voi vaikuttaa kuvausajankohtien ja kuvien laadun ohella kasvittuneeseen pinta-alaan.

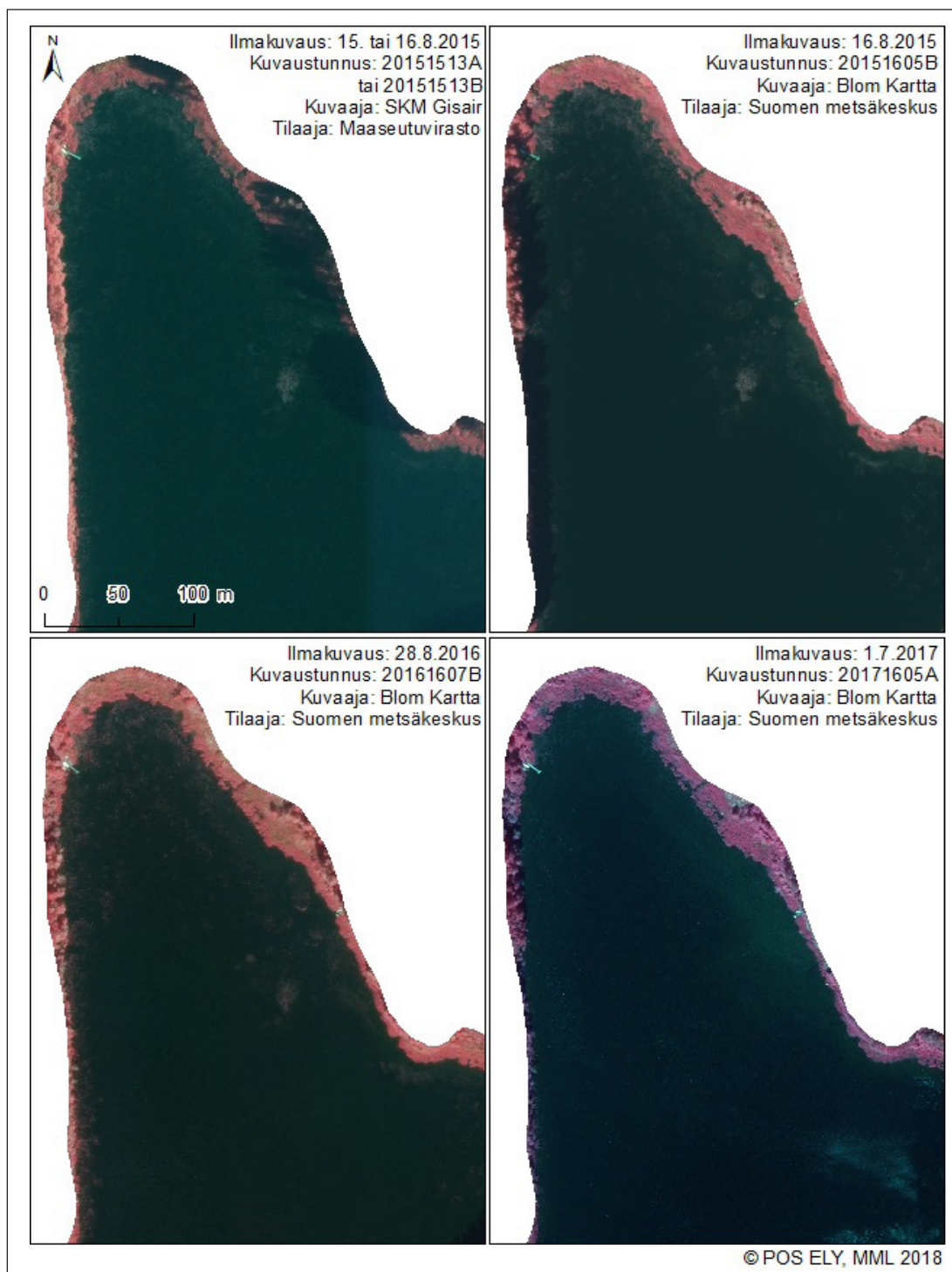


Kuva 9. Toiviaisjärven (04.552.1.013) eteläranta neljästä eri ilmakuvauksesta tuotetuissa vääräväri-ortokuvissa.



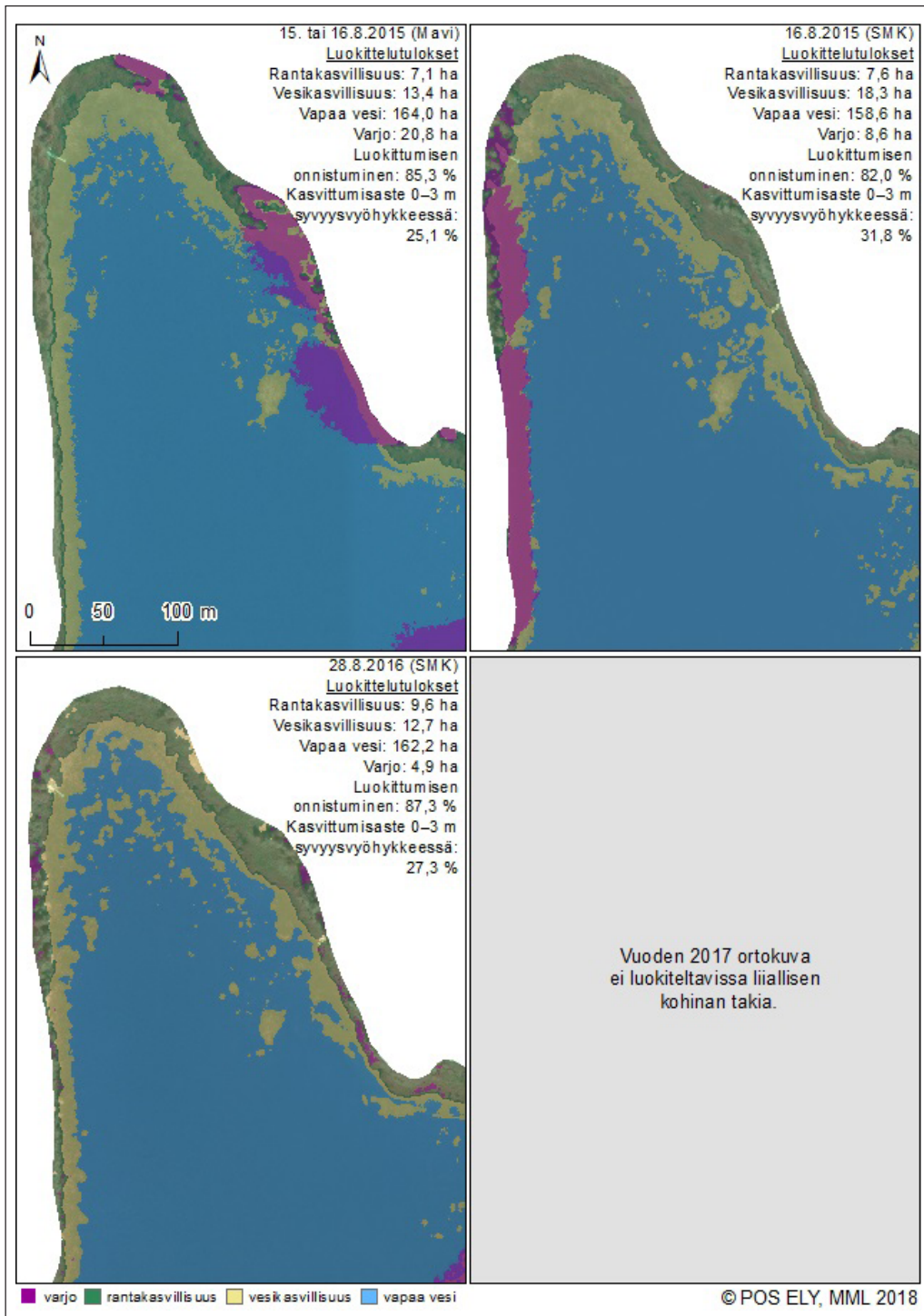
Kuva 10. Toivaisjärven eteläranta luokiteltuna tulkintamenetelmällä eri ajankohtien ortokuvista.





Kuva 11. Rytynjärven Rytynpohja neljästä eri ilmakuvauksesta tuotetuissa vääräväri-ortokuvissa.





Kuva 12. Rytynjärven Rytkynpohja luokiteltuna tulkintamenetelmällä eri ajankohtien ortokuvista.

## 2. 10 Käyttäjakohtaiset erot tulkintatuloksissa

Käyttäjakohtaisia eroja tulkintatuloksissa (tulkitut kasvillisuusluokkien ja veden pinta-alat) testattiin kolmen eri käyttäjän välillä viidellä järvellä. Kyseisillä järvillä radiometriset erot ilmakuvassa järven eri puolilla olivat minimaaliset, joten käyttäjien tarvitsi valita luokitteluun ainoastaan yhden NDVI-kynnysarvot. Testauksen avulla saatiin selville, kuinka suuria eroja eri kohde-  
luokkien pinta-aloihin voi muodostua ainoastaan tulkin-  
nän tekijästä johtuvien erojen vuoksi.

Kahdella testijärvellä käyttäjien väliset erot tulkin-  
nän tuottamisissa pinta-aloissa olivat melko mer-  
kittäviä (variaatiokerroin  $CV > 20$ ), kolmella järvellä

suhteellisen vähäisiä ( $CV < 10$ ; taulukko 8). Keski-  
määräinen variaatiokerroin kasvillisuuden kokonais-  
pinta-alassa oli 15,8 %. Variaatiokertoimia voidaan  
verrata esim. vesikasvitutkimusten maastotutkimuk-  
sen tekijöiden väliseen vaihteluun (Kanninen ym.  
2013). Maastotutkimuksissa eri henkilöiden väliset  
erot vesikasvillisuuden eri elomuotojen suhteellis-  
sa runsauksissa (arvioituna joko päävyöhykelinja- tai  
aluekartoitusmenetelmän mukaisesti) olivat samaa  
luokkaa ( $CV$  16-25 %) kuin tässä tutkimuksessa ha-  
vaitut visuaalisen ilmakuvatulkinnan erot henkilöiden  
välillä. Havaitun lajiston ja tilamuuttujien suhteen hen-  
kilöiden väliset erot olivat maastotutkimuksissa vähäi-  
sempiä kuin runsausarvioiden väliset erot (Kanninen  
ym. 2013).

Taulukko 8. Kolmen eri käyttäjän tulkitsimien kasvillisuusluokkien pinta-alojen keskiarvot, keskihajonnat (SD) ja variaatiokertoimet (CV) viidellä eri järvellä.

Järvi	Rantakasvillisuuden pinta-ala			Vesikasvillisuuden pinta-ala			Kasvillisuus yhteensä		
	Keskiarvo, ha	SD	CV	Keskiarvo, ha	SD	CV	Keskiarvo, ha	SD	CV
Hernejärvi	18,0	3,8	20,9	68,6	17,7	25,8	86,5	19,4	22,4
Hirvijärvi	5,6	0,3	5,1	10,7	2,4	22,7	16,3	2,3	14,0
Siikajärvet	0,9	0,1	5,8	6,2	2,2	35,6	7,1	2,2	30,4
Sulkavanjärvi	4,9	2,4	50,3	29,1	4,0	13,6	33,9	1,7	5,1
Valkeinen	12,7	0,9	7,4	28,3	3,6	12,8	41,0	3,0	7,2

## 3 Tilan arviointimenetelmä

### 3.1 Periaate

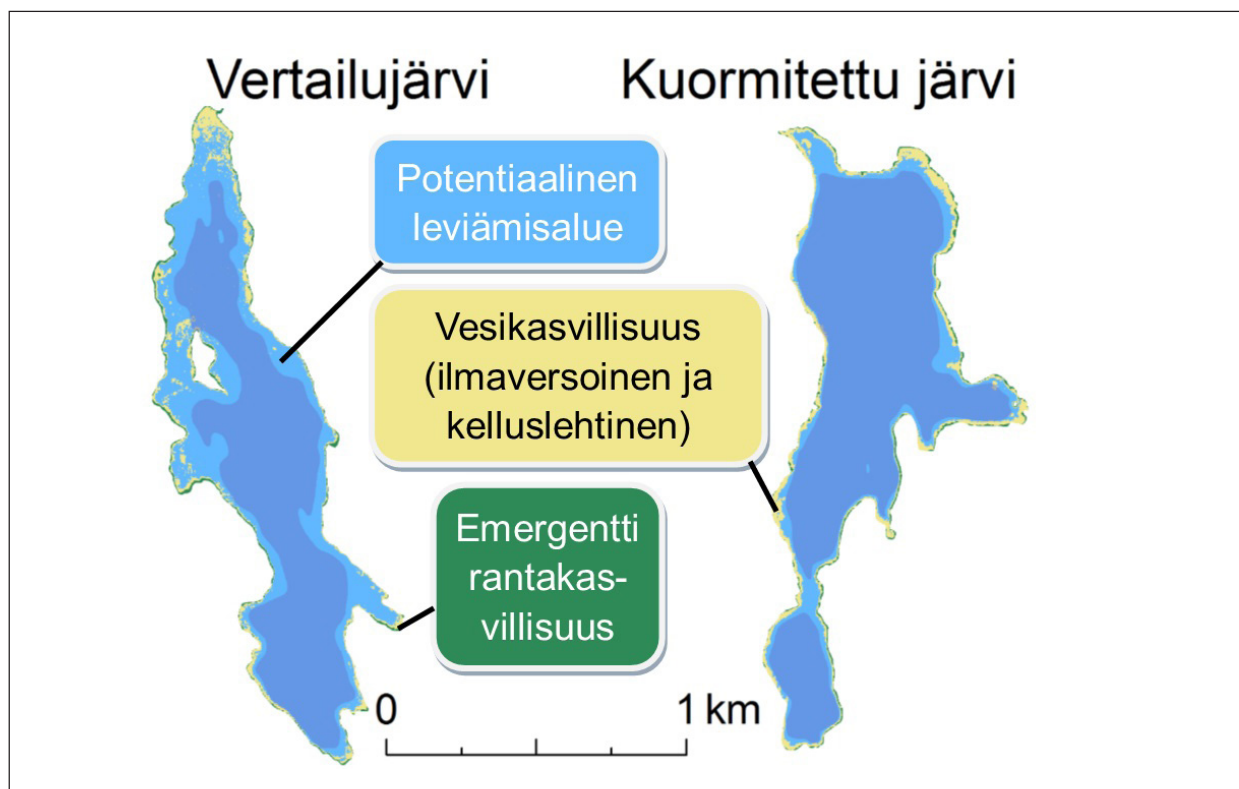
Periaatteen ilmakuvilta tulkitun vesikasvillisuuden pinta-alan käyttämiselle vesikasvillisuuden tilan mittarina ovat esittäneet Leka ym. (2003), Vallinkoski ym. (2004), Valta-Hulkkonen ym. (2005) ja Kanninen (2012). Menetelmä pohjautuu ilmakuvilla näkyvän vesikasvillisuuden kokonaisalaa kuvaavan karttatason vertailemiseen järven syvyysvyöhykkeiden perusteella määritettyyn vesikasvillisuuden mahdolliseen kasvualueeseen (kuva 13). Aiemmissa tutkimuksissa (Leka ym. 2003, Vallinkoski ym. 2004, Kanninen 2012) on osoitettu, että tällainen yksinkertainen ilmakuvilta erottuva vesikasvillisuuden runsaus, ns. "kasvittumisaste" on yhteydessä sekä järven rehevyyteen, että havaittuun vesikasvilajiston tilaan. Näin ollen sitä voitaisiin käyttää järvien ekologisen tilan arvioinnissa kuvaamaan rehevöitymisen aiheuttamaa kasvillisuuden runsastumista (Vesipuidedirektiivin liitteen 5 määritelmät). Tällainen umpeenkasvua kuvaava ekologisen

tilan mittari on myös lähtökohtaisesti kansalaisten ja muiden sidosryhmien helposti ymmärrettävissä.

Kasvittumisasteessa esiintyy kuitenkin vaihtelua erilaisten järvien välillä. Tämä vaihtelu on otettava huomioon, jotta voidaan täsmällisesti arvioida erilaisissa järvissä, kuinka paljon vesikasvillisuuden runsaus on muuttunut luonnontilaisesta ravinnekuormituksen tai muun ihmistoiminnan takia.

### 3.2 Järvien valinta

Testijärvien valinta tilanarviointimenetelmän kehittämistä ja validointia varten perustui SYKEN (Riihimäki & Tattari) ryhmittelyä varten kokoamaan noin 2500 järven aineistoon. Kyseinen aineisto sisältää tarvittavat perustiedot järvien morfometriasta, vedenlaadusta, valuma-alueen maankäytöstä ja eri eliöryhmien ekologisista laatusuhteista.



Kuva 13. Ranta- ja vesikasvillisuuden tulkittua kokonaispinta-alaa ja syvyysaineiston perusteella rajattua potentiaalista kasvualuetta kuvaavat karttatason esimerkinomaisessa vertailujärvessä ja ravinnekuormitetussa järvessä.

Em. aineistosta valittiin hankkeen tutkimusjärvet usein eri reunaehdoin. Järveltä tuli olla ensinnäkin sopivalta aikajaksolta oleva ilmakeku (kuvattu 1.7.–10.9. vuosina 2012–2017). Toiseksi, järvellä tuli olla tarkka syvyystieto (SYKEN sisävesien luotauksiin perustuvat syvyysalueet), sillä ilman sitä tilamittarin laskeminen on lähtökohtaisesti mahdotonta. Menetelmän soveltamiseen kuluva ajan ja hankkeen työaikaresurssien puitteissa aineiston tulkitseminen keskitettiin vain tietyn tyyppiin järviin. Valituksi tulivat järviyypit pienet humusjärvet (Ph), runsashumuksiset järvet (Rh), matalat runsashumuksiset järvet (MRh) ja matalat humusjärvet (Mh), koska lähtökohtaisesti kasvittumisaste toimii parhaiten humusjärvissä, joissa vedenalaisen kasvillisuuden runsaus on luontaisesti vähäisempää kuin kirkasvetisissä järvissä. Hankkeessa valittiin tulkintamenetelmällä prosessoitavaksi ainoastaan Etelä-Suomen järviä. Järvien vesikasvillisuuden tilan luokittelussa Pohjois- ja Etelä-Suomen järville käytetään eri kriteereitä. Etelä-Suomeen luetaan Oulujoen vesistöalueen alle 120 metriä merenpinnan yläpuolella ja muut eteläisemmät järvet (OH 3 / 2009).

Kustakin järviyypistä valittiin mahdollisimman luonnontilaisia vertailujärviä ja kuormitettuja järviä. Vertailujärvillä valuma-alueen maankäytöstä rakennetun alueen tai peltojen osuudet saivat olla enintään 6 prosenttia. Vertailujärviin ei saanut kohdistua myöskään pistekuormitusta. Lisäksi vertailujärvien ekologisen tila tuli olla edellisellä luokituskierröksellä arvioitu erinomaiseksi tai hyväksi. Kuormitettujen järvien valintakriteereinä olivat veden korkea kokonaisfosforipitoisuus, vesistöön kohdistuvan pistekuormituksen suuri määrä ja /tai vesistön heikentynyt tila (tilaluokka korkeintaan välttävä). Valittuun joukkoon pyrittiin valitsemaan järviä, joista oli olemassa myös vesikasvillisuuden lajiaineistoa, jotta voitiin verrata kasvittumisasteeseen pohjautuvaa ja lajistoon pohjautuvaa tilaluokkaa keskenään. Vertailujärvien valuma-alueella oli peltoa keskimäärin 2 % (vaihteluväli 0–5,7 %) ja kokonaisfosforipitoisuus keskimäärin 21 µg/l (7–45) kun kuormitettujen järvien peltoprosentti oli keskimäärin 13 % (3–28 %) ja kokonaisfosforipitoisuus 36 µg/l (11–58). Kuormitetut järvet olivat keskimäärin myös sameampia. Valittuun joukkoon pyrittiin valitsemaan järviä, joista oli olemassa myös vesikasvillisuuden lajiaineistoa, jotta voitiin verrata kasvittumisasteeseen pohjautuvaa ja lajistoon pohjautuvaa tilaluokkaa keskenään.

SYKEN vesistömallijärjestelmästä (WFSF-VEMLA) määritettiin tutkimusjärville järville kuvaushetken lämpösumma 3. jakovaiheen alueille simuloidusta da-

tasta. Jos järven ortokuvat ovat usealta eri lentopäivältä, lämpösumma määritettiin ensimmäisen kuvauspäivän mukaan.

Kaikkiaan tutkimukseen valittiin 54 järveä. Näistä hankkeessa pystyttiin tuottamaan vesikasvillisuuden ilmakekuvatlukinta kaikkiaan 36 järvelle (22 vertailujärveä ja 14 kuormitettua järveä). Loppujen 18 järven tulkintaprosessi ei erinäisistä syistä onnistunut, johon oli syynä mm. pilvisuus kuvauspäivinä, kirkkaan pohjan väärinluokittuminen vesikasvillisuudeksi, kova aallokko, rantapuuston aiheuttamat tulkintavaikkeudet tai kuvien heikko laatu. Esimerkkikuvia tulkinnan estäneistä tekijöistä on koostettuna liitteeseen c. Tutkittujen järvien aineisto on esitettyä ArcGIS Online –karttapalvelussa: <http://syke.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=d592ef7c28ed4e90a826a3765317c0f7>

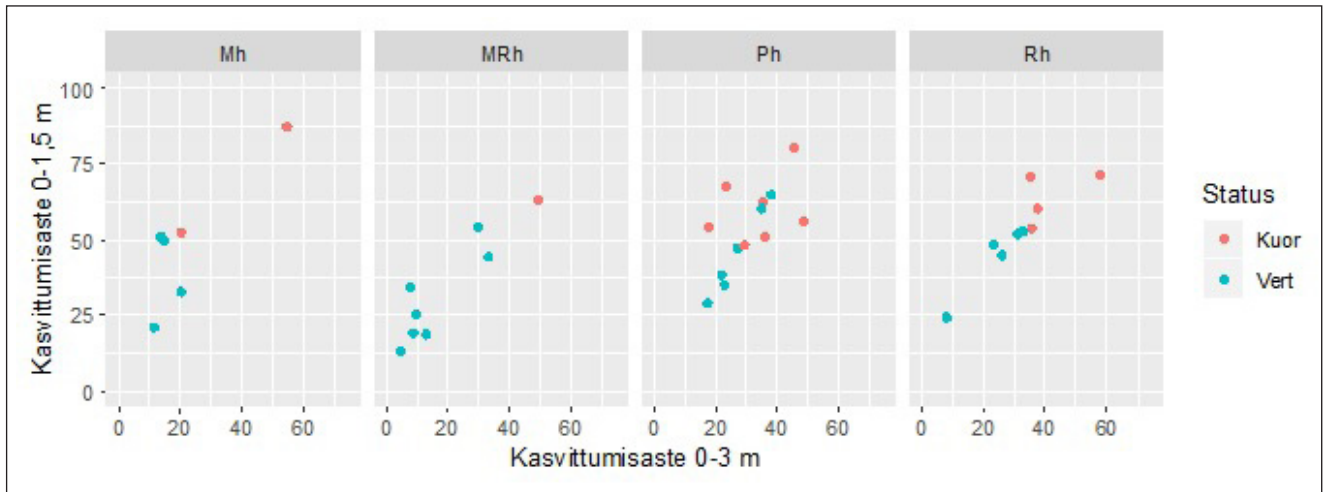
### 3.3 Kasvittumisasteen laskenta

Tässä menetelmässä kasvittuneisuusasteen laskennassa käytettiin SYKEN Järvien syvyysalueet-aineistoa. Siitä määritettiin järven pinta-ala kahdessa eri syvyysvyöhykkeessä: 0–1,5 metrin vyöhykkeessä ja 0–3 metrin vyöhykkeessä. Mallinuksissa käytettiin sitä kasvittuneisuusasteen muotoa, joka lasketaan jakamalla syvyysvyöhykkeessä olevan ranta- ja vesikasvillisuuden yhteispinta-ala syvyysvyöhykkeen pinta-alalla. Esimerkiksi Karsikkojärvellä tulkittiin vuoden 2014 ilmakekuvasta olevan ranta- ja vesikasvillisuutta 0–1,5 m vyöhykkeessä 5,93 hehtaaria. Karsikkojärven 0–1,5 metrin syvyysvyöhykkeen pinta-ala on 18,18 hehtaaria, joten Karsikkojärven kasvittuneisuusaste 0–1,5 m syvyysvyöhykkeessä on näin ollen  $5,93 \text{ ha} / 18,18 \text{ ha} \cdot 100\% = 32,6 \%$

### 3.4 Kasvittumisasteen vaihtelu

Järvien biologisten tekijöiden, kuten vesikasvillisuuden kasvittumisasteen luontainen vaihtelu, on otettava huomioon, jotta ihmistoiminnan aiheuttamat muutokset voidaan luotettavasti tunnistaa. Yksinkertaisimmillaan luontaisen vaihtelun aiheuttamaa hälyä voidaan yrittää hallita ryhmittelemällä järvet luontaisesti samankaltaisiin ryhmiin eli järviyyppeihin.

Kasvittumisaste vaihteli 22 luontaisesti humuksisen (järviyypit Mh, MRh, Ph ja Rh) vertailujärven



Kuva 14. Kahden syvyysvyöhykkeen kasvittumisasteen välinen suhde neljässä eri järviyypissä. Järvien jako luonnontilaisiin vertailujärviin (Vert) ja kuormitettuihin järviin (Kuor) on merkitty eri värisillä symboleilla. Kasvittumisaste on laskettu vertailemalla spesifimmin syvyysvyöhykkeessä olevan kasvillisuuden pinta-alaa syvyysvyöhykkeen pinta-alaan.

aineistossa verrattain paljon; 0–1,5 m vyöhykkeellä se oli keskimäärin 39 % (vaihteluväli 13–65 %). Syvyysvyöhykkeiden kasvittumisasteet korreloivat keskenään suhteellisen säännönmukaisesti (kuva 14). Syvemmillä kasvittumisasteen taso on luontaisesti pienempi, 0–3 m vyöhykkeellä se oli keskimäärin 20 % (vaihteluväli 5–38 %). Kuormitetuissa järvissä kasvittumisaste oli keskimäärin suurempi molemmissa syvyysvyöhykkeissä kaikissa järviyypeissä, vaikkakin useissa kuormitetuissa järvissä kasvittumisaste oli osittain vertailujärvien vaihtelun sisällä (etenkin Ph). Kasvittumisasteet olivat keskimäärin hieman alhaisempi matalissa humusjärvissä (Mh ja MRh) ja hieman korkeampia pienissä humusjärvissä ja runsashumuksissa järvissä (Ph ja Rh) (kuva 14) mutta selkeää eroa näiden eri humusjärviyppien välillä ei esiintynyt. Näin ollen järvien tyypittelyä ei voida pitää riittävänä keinona ottaa luontaista vaihtelua huomioon ja hankkeessa keskityttiinkin mallintamaan järven morfometrian ym. taustatiedon luontaisen kasvittumisasteen tasoa järviakohtaisesti tilan arviointia varten.

### 3.5 Vertailuolosuhteiden mallintaminen kasvittumisasteelle

Kasvittumisasteen luontaisen vaihtelun mallinnuksen menetelmänä käytettiin Random Forest -mallinnusta (Breiman 2001), joka on moderni tilastomenetelmä, jonka avulla voidaan tehokkaasti havaita useiden selittävien muuttujien väliset selityssuhteet samanaikaisesti (Cutler ym. 2007). Mallit kalibroitiin 22 vertailujärven aineiston avulla. Selittäviksi muuttujiksi malleihin tarjottiin taustatietoja järvien morfometrias- ta (keskisyvyys, pinta-ala, rantaviivan pituus, korkeus merenpinnasta), mitatusta luontaiseksi oletetusta vedenlaadusta (väriarvo, alkaliniteetti, pH, ravinteiden pitoisuudet) ja valuma-alueen ominaisuuksista (turvemaiden osuus, kivennäismaiden osuus, vesistöjen osuus, soiden osuus). Malliin tarjottiin ensin selittäviksi muuttujiksi kaikkia muuttujia, minkä jälkeen iteratiivisesti poistettiin vähiten kasvittumisastetta selittäviä muuttujia ja keskenään korreloituneita muuttujia pyrkimyksenä ylisovittamaton mielekäs malli, jonka avulla voitaisiin arvioida kasvittumisasteen tasoa luontaisesti erilaisissa järvissä. Muuttujien valinnassa käytettiin apuna R-ohjelman VSURF-pakettia (Genuer ym. 2015). Molemmille syvyysvyöhykkeille rakennettiin omat mallit. Lopuksi mallien avulla pyrittiin ennustamaan kuormitetuille järville niiden vertailutilassa odotettu kasvittumisasteen taso. Järvien havaittu kasvittumisaste rinnastettiin sitten odotettuun kasvittumisasteeseen. Tämä odotetun ja havaittujen arvojen vertailu vastaa Vesipuidedirektiivissä ja ve-

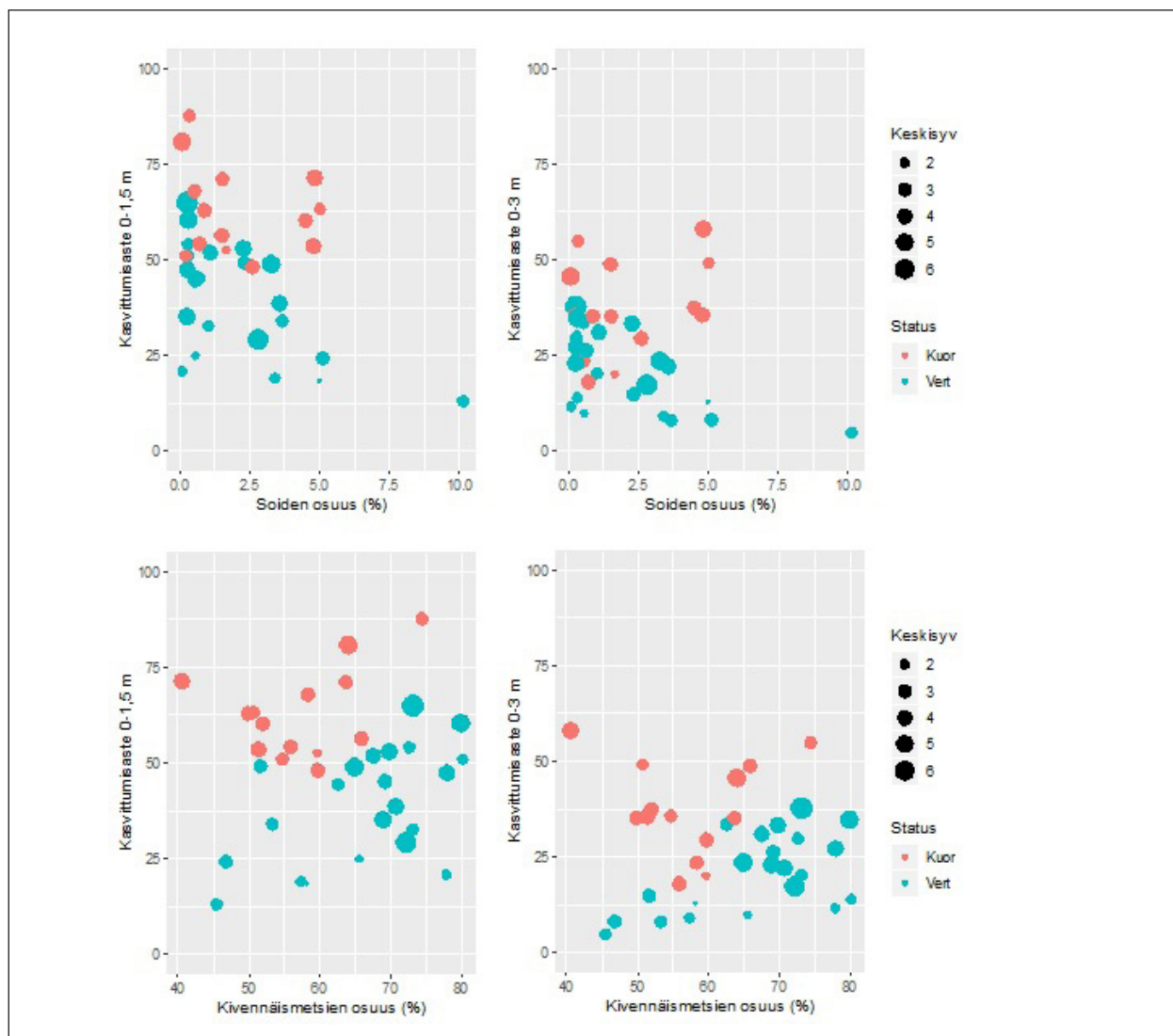


sienhoidossa käytetty ekologista laatusuhdetta (ELS), joka on 1 tai lähellä arvoa 1 erinomaisessa tilassa ja on sitä pienempi mitä heikompi ekologinen tila on (minimiarvo on nolla).

Random Forest -mallinnuksen perusteella humusjärvien luontaista kasvittumisastetta selittivät parhaiten morfometrisista muuttujista keskisyvyys ja korkeus, vesikemiasta sameus, väri, kokonaisfosfori, ammoniumtyppi ja pH sekä valuma-alueen ominaisuuksista soiden, kivennäismetsien ja järvien osuus. Useat muuttujat olivat keskenään korreloituneita eli niiden poisto selittävien muuttujien joukosta ei välttämättä vähentänyt mallien selitysvoimaa. **Lopulliseksi selittäviksi muuttujiksi molempien syvyysvyöhykkeiden malleihin valikoituivat keskisyvyys ja soiden osuus valuma-alueella** (kuva 15). Kuvan 15 avulla nähdään hyvin aineiston ja mallien raken-

ne. Karkeasti arvioiden vertailutilassa odotettu kasvittuneisuusaste (kuvassa 15 sinisellä) esimerkiksi 0-3 m syvyysvyöhykkeessä on aina alle 10 %, kun kivennäismetsien osuus on alle 50 % valuma-alueella (tai soita yli 5 %) ja aina alle 30 %, jos kivennäismetsien osuus on alle 65 % (tai soita yli 3 %) valuma-alueella. Kuormitetuissa järvissä (kuvassa 15 punaisella) kasvittuneisuusaste oli lähes aina suurempi kuin mitä soiden tai kivennäismetsien osuuden perusteella voitiin olettaa.

0–1,5 m vyöhykkeellä keskisyvyys ja soiden tai kivennäismetsien osuus selittivät 21 % ja 0–3 m vyöhykkeellä 35 % kasvittumisasteen vaihtelusta. Kokonaisfosforin pitoisuuden lisääminen 0–1,5 m vyöhykkeen malliin korotti selitetyn vaihtelun 28 %:iin, mutta samalla aiheutti mallin ylisovittamista. Sameus lisäsi vähän selitysvoimaa 0-3 m vyöhykkeellä, mutta same-



Kuva 15. Kahden syvyysvyöhykkeen havaitun kasvittumisasteen ja valuma-alueen soiden (ylärivi) ja kivennäismetsien osuuden välinen suhde. Keskisyvyys on merkitty eri kokoisilla symboleilla. Järvien jako luonnontilaisiin vertailujärviin (Vert) ja kuormitettuihin järviin (Kuor) on merkitty eri väreillä. Soiden ja kivennäismetsien osuuden välillä on voimakas negatiivinen korrelaatio ( $r = -0,75$ ) ja siksi on esitetty myös kasvittumisasteen ja kivennäismetsien välinen yhteys.

utta ei sisällytetty malliin, koska sen tasolle ei ole arvioita vertailutilasta. Muiden muuttujien lisääminen malliin ei loppujen lopuksi lisännyt niiden selitysvomaa ilman että mallit olisivat olleet ylisovitettuja.

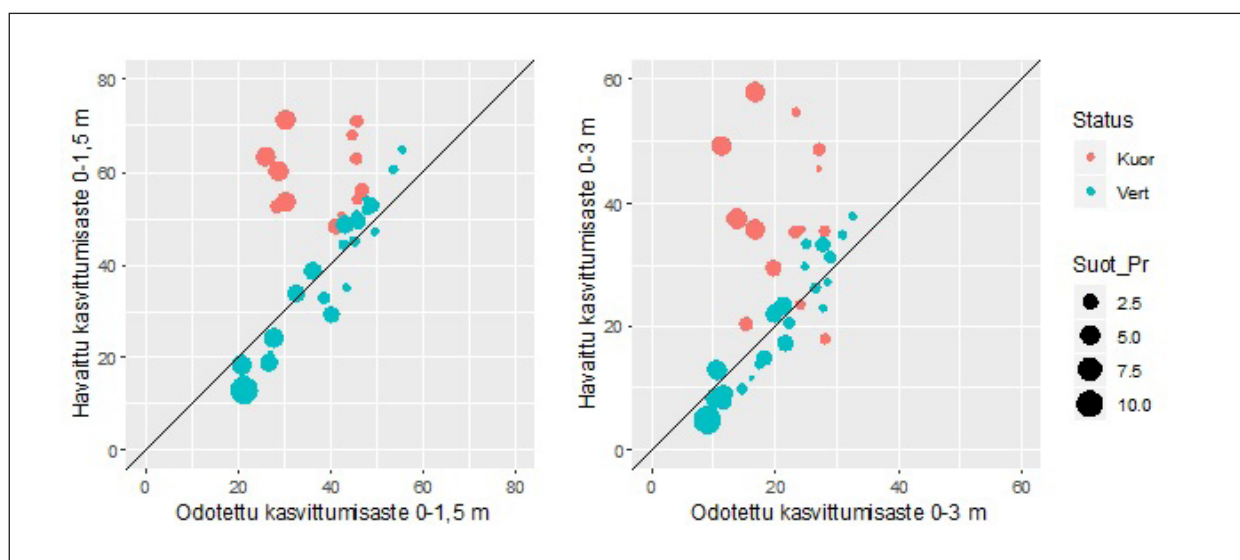
Vertailuolomallien hyvyystarkastelu tehtiin sovittamalla mallit takaisin kalibrintiaineistoon ja tarkastelemalla havaittujen ja mallinnettujen arvojen suhdetta (kuva 16 siniset symbolit). Mitä lähempänä havaitut arvot ovat mallinnettuja, sitä paremmin mallin voidaan katsoa toimivan. Mallit vaikuttivat ennustavat kasvittuneisuusasteen luontaisen vaihtelun verrattain hyvin. Matalammalla syvyysvyöhykkeellä malli näytti hieman yliennustavan alhaista kasvittuneisuusastetta (odotettu > havaittu) ja molemmissa syvyysvyöhykkeissä hieman aliennustavan (odotettu < havaittu) luontaisesti suurta kasvittuneisuusastetta, mutta kaiken kaikkiaan havaittu ja odotettu arvo olivat aina jokseenkin lähellä lävistäjää (kuva 16).

### 3.6 Tilan arviointi kasvittuneisuusasteen perusteella

Malleilla ennustettiin lopuksi odotettu kasvittuneisuusaste kuormitetuille järville käyttäen niiden keskisyyvyyttä ja valuma-alueen maanpeitetietoja (kuvassa 16 punaiset symbolit). Kuten jo voitiin kuvan 15 perusteella

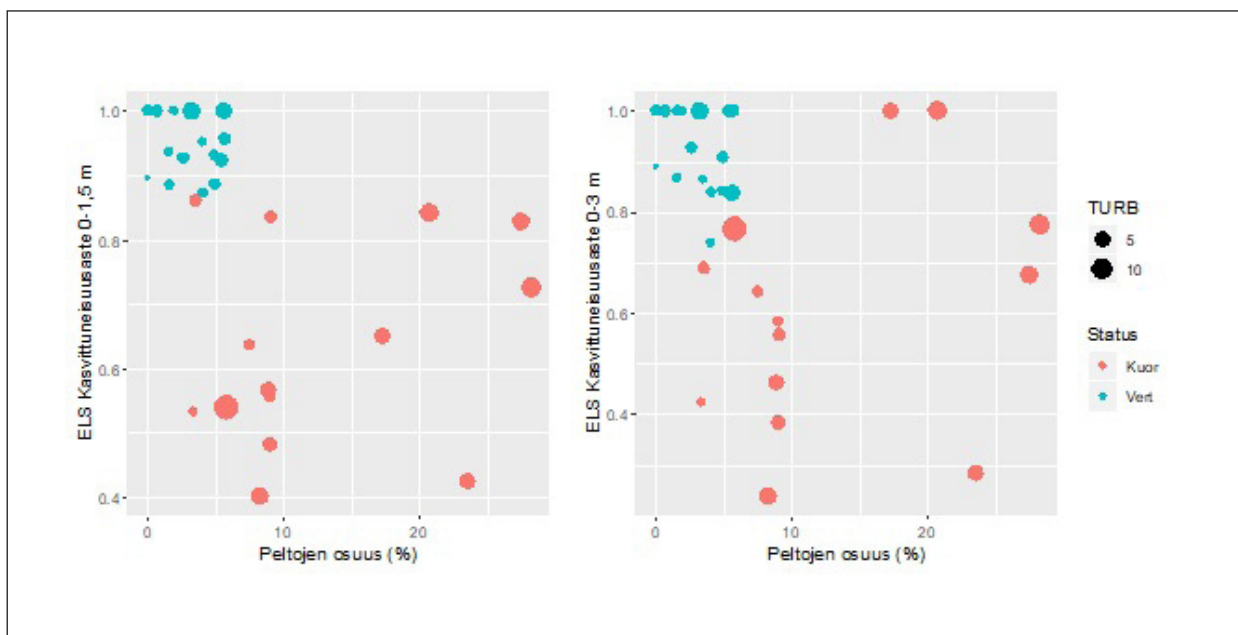
päätellä, oli kuormitetujen järvien havaittu kasvittuneisuusaste lähes aina suurempi kuin mitä niillä luontaisesti olisi ilman kuormitusta. Poikkeama havaitun ja odotetun (=mallinnetun tai ennustetun) arvon välillä on ekologinen laatusuhde ELS, joka kertoo järven vesikasvillisuuden tilan kasvittuneisuuden perusteella. Mitä enemmän havaittu arvo on odotettua suurempi, sitä kasvittuneempi ja umpeenkasvaneempi järvi on suhteessa mallinnuksen perusteella arvioituun luontaiseen kuormittamattomaan tilaan.

Lopuksi tarkasteltiin kasvittuneisuusasteen ELSin (odotettu / havaittu) suhdetta järvien veden laatua kuvaaviin mittauksiin. Syvyysvyöhykkeiden ELSit korreloivat voimakkaasti keskenään ( $r = 0,85$ ), mutta 0-1,5 m syvyysvyöhykkeen ELSien korrelaatiot vedenlaatuun olivat voimakkaammat. ELSit korreloivat vedenlaatumuuttujista voimakkaimmin sameuden ( $r = -0,46$  matala vyöhyke,  $r = -0,27$  syvä) ja kokonaisfosforin ( $r = -0,44$  ja  $-0,32$ ) kanssa (kuva 17). ELSit korreloivat negatiivisesti myös valuma-alueen peltojen osuuden kanssa ( $r = -0,50$  ja  $r = -0,39$ ).

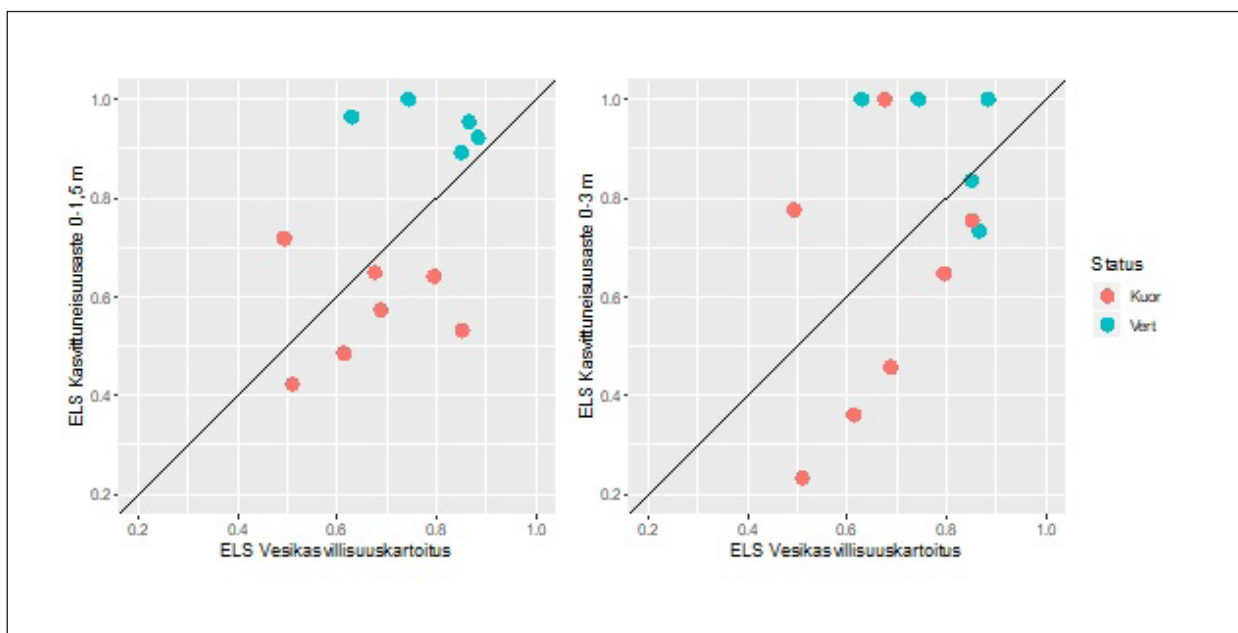


Kuva 16. Havaitun ja RF-mallin perusteella mallinnetun odotetun kasvittuneisuusasteen välinen suhde kahdessa syvyysvyöhykkeessä. Symbolien koko kuvaa järven valuma-alueen soiden osuutta. Järvien jako luonnontilaisiin vertailujärviin (Vert) ja kuormitetuihin järviin (Kuor) on merkitty eri väreillä.





Kuva 17. Kasvittumisasteen ekologisen laatusuhteen (ELS = mallin perusteella vertailutilassa odotettu / nykytilassa havaittu kasvittumisaste) ja valuma-alueen peltoisuuden välinen suhde kahdessa syvyysvyöhykkeessä. Vertailujärvien erinomaista tilaa indikoivat > 1 ELS-arvot on muutettu arvoksi 1. Järven veden sameusarvot on esitetty erikokoisilla symboleilla.



Kuva 18. Ilmakuvatulokintaan perustuvan kasvittumisasteen ELS-arvon ja maastossa tehdyn vesikasvillisuuden lajistokartoitukseen perustuvan ELS-arvojen suhde 12 tutkimusjärvellä kahdessa syvyysvyöhykkeessä.

### 3.7 Kasvittumisasteeseen ja lajistoon perustuvien tilamuuttujien välinen suhde

Tarkasteluun voitiin valita 12 järveä, joista oli sekä maastossa tehty vesikasvillisuuden lajiston kartoitus ja indeksilaskenta (EKOLAS-hanke) ja onnistunut ilmakuvatulokinta kasvittumisasteesta.

Lajistosta laskettuun vesikasvillisuuden tilaan kasvittumisasteen ELSin korrelaatiokerroin oli  $r=0,45$  matalammassa 0-1,5 m vyöhykkeessä ja  $r=0,42$  syvemmässä 0-3 m vyöhykkeessä (kuva 18). Kuormittujen järvien joukossa lähes poikkeuksetta ilmakuvatulokintaan perustuva tila-arvio indikoi heikompaa vesikasvillisuuden tilaa kuin lajistokartoitus. Yksittäisistä lajistomuuttujista kasvittumisasteen ELS korre-

loi voimakkaimmin lajistosta laskettuun tyyppilajien suhteelliseen osuuteen ( $r=0,51$  0-1,5 m ja  $r=0,72$  0-3 m) ja heikoimmin RI-indeksiin. Vaihtelua siis on, eikä ilmakuvausta tulkitun kasvittumisasteen ELS anna välttämättä samaa tulosta kuin lajiston ELS. Huomionarvoista on, että molempiin tulkintoihin sisältyy vaihtelua ja virhelähteitä.

### 3.8 Odotetun kasvillisuuden pinta-alan mallinnus

Lopuksi tarkasteltiin, että voitaisiinko vertailutilassa odotetun kasvillisuuden pinta-alaa mallintaa järven luontaisilla morfometrisillä tekijöillä. Mallinnusta kehitettiin 22 vertailujärven aineistolla yllä kuvatulla RF-mallinnustekniikalla. Ranta- ja vesikasvillisuuden tai

pelkän vesikasvillisuuden pinta-ala odotetusti kasvoi järven koon kasvaessa (ranta- ja vesikasvillisuuden pinta-alan korrelaatio järven pinta-alaan oli 0,79 ja rantaviivan pituuteen 0,71). Järven koko myös valikoitui ranta- ja vesikasvillisuuden pinta-alaa parhaiten selittäviksi tekijöiksi (selitetyn vaihtelun osuus 30–33 %), mutta esim. järven keskisyvyys ei ollut merkitsevä. Jatkossa tulisikin arvioida voitaisiinko huomattavasti suuremman joukon järvien vesikasvillisuuden tilaa arvioida tällä menetelmällä niin, että odotetun vesikasvillisuuden pinta-ala mallinnettaisiin karkeasti etenkin järven koon avulla. Tällöin kasvillisuuden pinta-alasta voitaisiin muodostaa tilanarviointimuuttuja myös selkeille järville, joille ei ole käytössä tarkkaa paikkatietopohjaista syvyysaineistoa.

# 4 Järvien vedenpinnan noston vaikutukset umpeenkasvukehitykseen

## 4.1 Tausta

Järvien vedenpinnan nosto on yleisesti käytetty kunnostustoimenpide, jonka tarkoituksena on vesitilavuuden lisääminen ja sitä kautta järven vedenlaadun parantaminen. Merkittävänä tavoitteen on usein myös umpeenkasvun hillitseminen tai täydellisen umpeenkasvun estäminen (Ulvi ja Lakso 2005). Järven vedenpinnan noston todellisia vaikutuksia järvien tilaan on tutkittu melko harvoin, sillä tarvittava pitkäaikainen seuranta kunnostushankkeiden yhteydessä on useimmiten hankalaa tai mahdotonta järjestää. ILMAVERSO-hankkeessa kehitetty vesikasvillisuuden runsauden arviointimenetelmä soveltuu myös järvien umpeenkasvukehityksen tutkimiseen, mikäli soveltuvaa historiallista ilmakehu-aineisto on saatavilla. Tämän hankkeen yhteydessä toteutettiin pienehköllä järviyöjoukolla osatutkimus, jossa keskivedenpinnaltaan nostettujen järvien vesikasvillisuuden runsauden kehittymistä verrattiin morfologialtaan ja maankäytöltään suunnilleen samanlaisten vertailujärvien vesikasvillisuuden runsauden kehittymiseen. Tavoitteena oli selvittää, onko vedenpinnan korkeuden nosto osana ko. järvien kunnostamista onnistunut tavoitteessaan vähentää järven vesikasvillisuutta tai hillitä järvien umpeenkasvukehitystä.

## 4.2 Aineisto ja menetelmät

Sorvali (2017) tutki opinnäytetyössään 15 pohjois-savolaisen keskivedenpinnaltaan nostetun järven toteutuneita vedenkorkeuksia. Selvityksen kohdejärviyöjoukosta etsittiin järviä, joilta olisi olemassa tarvittava ilmakehu-aineisto vesikasvillisuuden runsauden analysointiin sekä ennen vedennostohankkeen toteutusta, että sen jälkeen. Ilmakehujen aineistolähteenä toimi Maanmittauslaitoksen ilmakehu-arkisto, josta Maastotiedon ylläpito-sivun kautta tiedot olivat saatavilla suhteellisen helposti (ohjeet liite b, kohta 2). Varsinaisten vedenpinnan nostokohteiden lisäksi kullekin nostetulle järvelle valittiin verrokkijärvi, joka a) sijaitsi lähellä nostettua järveä, b) oli maankäytöltään ja morfologialtaan mahdollisimman samankaltainen nostetun järven kanssa, c) oli ilmakehuvattu samaan aikaan ja samassa kuvauksessa kuin ko. nostettu järvi ja d) järven keskivedenpintaa ei ollut tutkimusjakson aikana muutettu. Tutkimusjärvet on esitetty taulukoissa 9 ja 10. Verrokkijärven avulla voitiin arvioida sitä, onko nostetussa järvestä tapahtunut vesikasvillisuuden pinta-alan suhteellinen muutos samankaltainen kuin olisi joka tapauksessa havaittavissa ajankohtien välillä ilman vedenpinnan noston vaikutusta.

Taulukko 9. Tutkimukseen valittujen vedenpinnaltaan nostettujen järvien ja niiden verrokkijärvien perustiedot.

Järvi	Järvitunnus	Pinta-ala, ha	Tulkitun alueen pinta-ala (jos ei tulkittu kokonaan), ha	Järvityyppi, lyhenne	Nostettu/vertailu
Osmanginjärvi	04.562.1.001	285,5		Rr	Nostettu
Valkeisjärvi	04.573.1.002	156,8		Mh	Verrokki
Luupuvesi	04.572.1.001	694,2	440,5	MRh	Nostettu
Väli- ja Yläjärvi	04.574.1.001–2	287,7		MRh	Verrokki
Hernejärvi	04.581.1.021	260,5		MRh	Nostettu
Nieminen	04.581.1.017	203,1		Ph	Verrokki
Hetejärvi	14.732.1.004	166,8		MRh	Nostettu
Suvantojärvi	14.477.1.002	291,8		MRh	Verrokki

Taulukko 10. Tutkimukseen valittujen vedenpinnaltaan nostettujen järvien ja niiden verrokkijärvien tiedot vedennoston vaikutuksista ja ilmakuvauksen ajankohdasta.

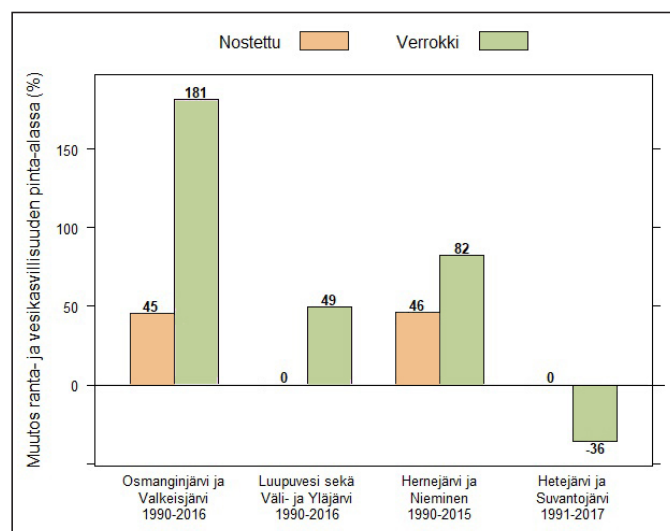
Järvi	Vedennoston ajankohta	Toteutunut keski-vedenkorkeuden nousu, m	Ilmakuva ennen vedennostoa		Ilmakuva vedennoston jälkeen	
			Päivämäärä	Lämpösumma, °C vrk	Päivämäärä	Lämpösumma, °C vrk
Osmanginjärvi	2001	0,16	22.6.1990	316	23.6.2016	418
Valkeisjärvi			22.6.1990	306	23.6.2016	442
Luupuvesi	1997	0,33	22.6.1990	303	23.6.2016	447
Väli- ja Yläjärvi			22.6.1990	298	23.6.2016	446
Hernejärvi	2000	0,11	23.6.1990	315	16.8.2015	786
Nieminen			23.6.1990	315	16.8.2015	786
Hetejärvi	2005	0,42	3.7.1991	357	1.7.2017	329
Suvantojärvi			3.7.1991	325	1.7.2017	306

Ilmakuva-aineiston saatavuus sopivalta ajankohdalta ennen nostohanketta ja sopivaan aikaan kasvu-kaudesta kuvattuna (kappale 4.2) muodostui rajoittavaksi tekijäksi, eikä Maanmittauslaitoksen arkistosta löytynyt täydellisesti tarkoitukseen soveltuvaa aineistoa. Neljä järviparia pystyttiin kuitenkin muodostamaan siten, että parin kummaltakin järveltä oli väärä-väri-ilmakuvia saatavilla sekä ennen kunnostustoimia, että niiden jälkeen. Ennen-tilanteen kuvat olivat kaikilta järveltä 1990-luvun alusta ja jälkeen –kuvat 2010-luvun puolivälistä, joten tutkimusjakso oli 25–26 vuotta. Samalla vedenkorkeudella olevat Välijärvi ja Yläjärvi käsiteltiin tutkimuksessa yhtenäisenä Luupuveden verrokkijärvenä.

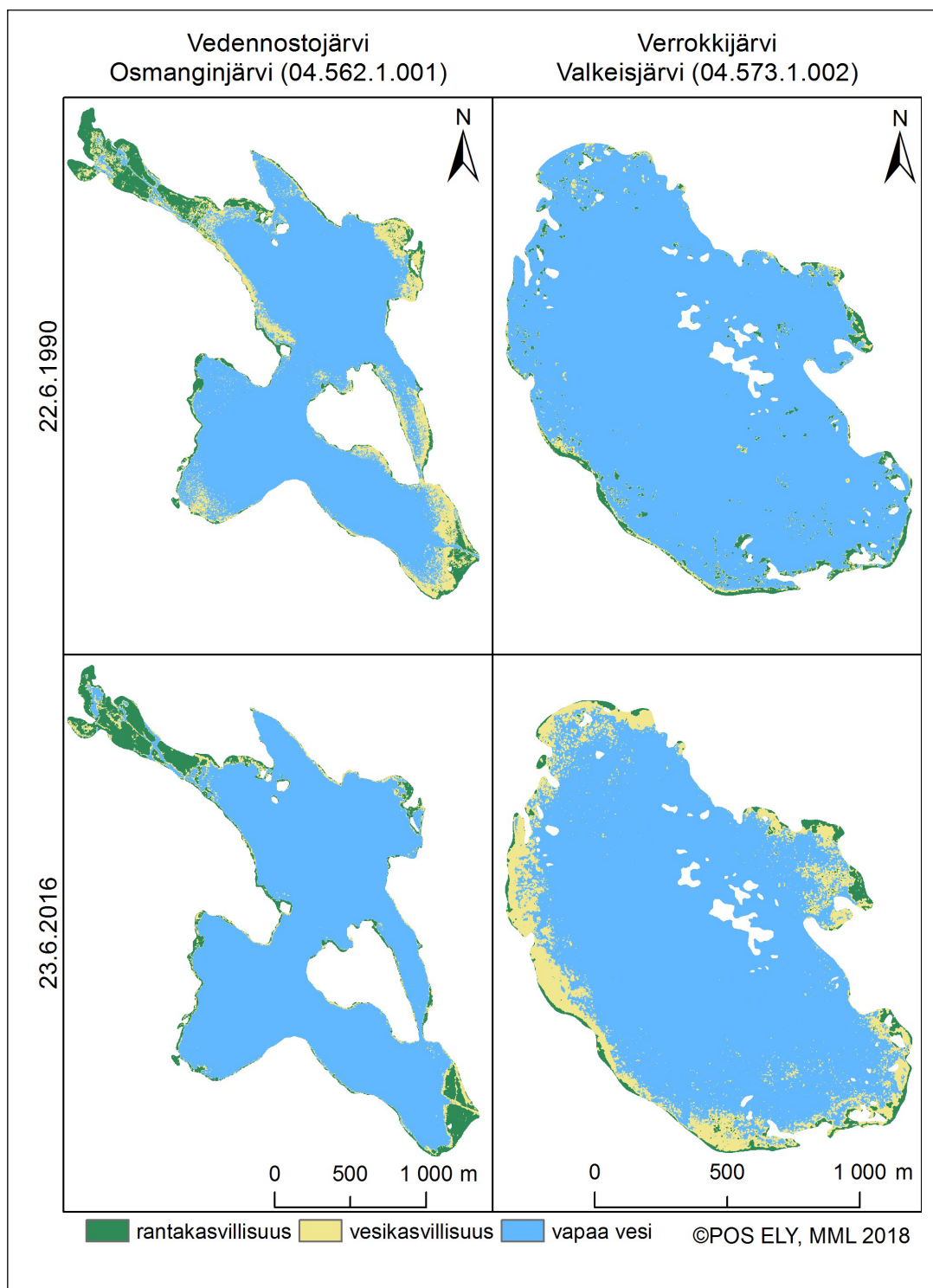
Vesikasvillisuuden pinta-ala analysoitiin kappaleissa 2.3 kuvatuilla menetelmillä eli kasvillisuus jaettiin tulkinnassa kahteen luokkaan: 1) "ilmaversoinen rantakasvillisuus" ja 2) "vedessä kasvava ilmaversoinen ja kelluslehtinen kasvillisuus". Menetelmällisenä poikkeuksena olivat Hete- ja Suvantojärven kuvat vuodelta 2017, jossa jouduttiin hyödyntämään objektipohjaista ohjattua luokittelua. Kyseiset kuvat sisälsivät häiriöitä, joissa visuaalisesti selkeästi vesialueiksi tunnistettavat alueet saivat poikkeuksellisen suuria NDVI-arvoja, joten tulkinta NDVI-kynnystyksellä oli mahdotonta. Vesikasvillisuuden pinta-alan muutosta kuvaavana tunnuslukuna käytettiin kasvillisuuden kokonaispinta-alan suhteellista muutosta ennen- ja jälkeen-tilanteiden välillä. Kunkin järviparin suhteellista muutosta verrattiin keskenään. Järville määritettiin kuvaushetkien lämpösumma kappaleessa 3.2 mainitulla tavalla.

## 4.3 Tulokset

Kolmella järviparilla neljästä vesikasvillisuuden kokonaispinta-ala kasvoi kahden tutkimusajankohdan välillä (kuva 19). Suhteellinen muutos oli kuitenkin nostetuilla järvillä selkeästi pienempi kuin niiden verrokkijärvistä. Poikkeuksellisesti Hetejärvi–Suvantojärvi-parissa verrokkijärvi Suvantojärven kasvillisuuden pinta-ala taas laski 36 % vedennostojärvi Hetejärven tilanteessa ollessa lähes muuttumaton (0,2 % nousu). Kuvat 20-23 esittävät järviparien ilmakuvatulkintaa karttoina.

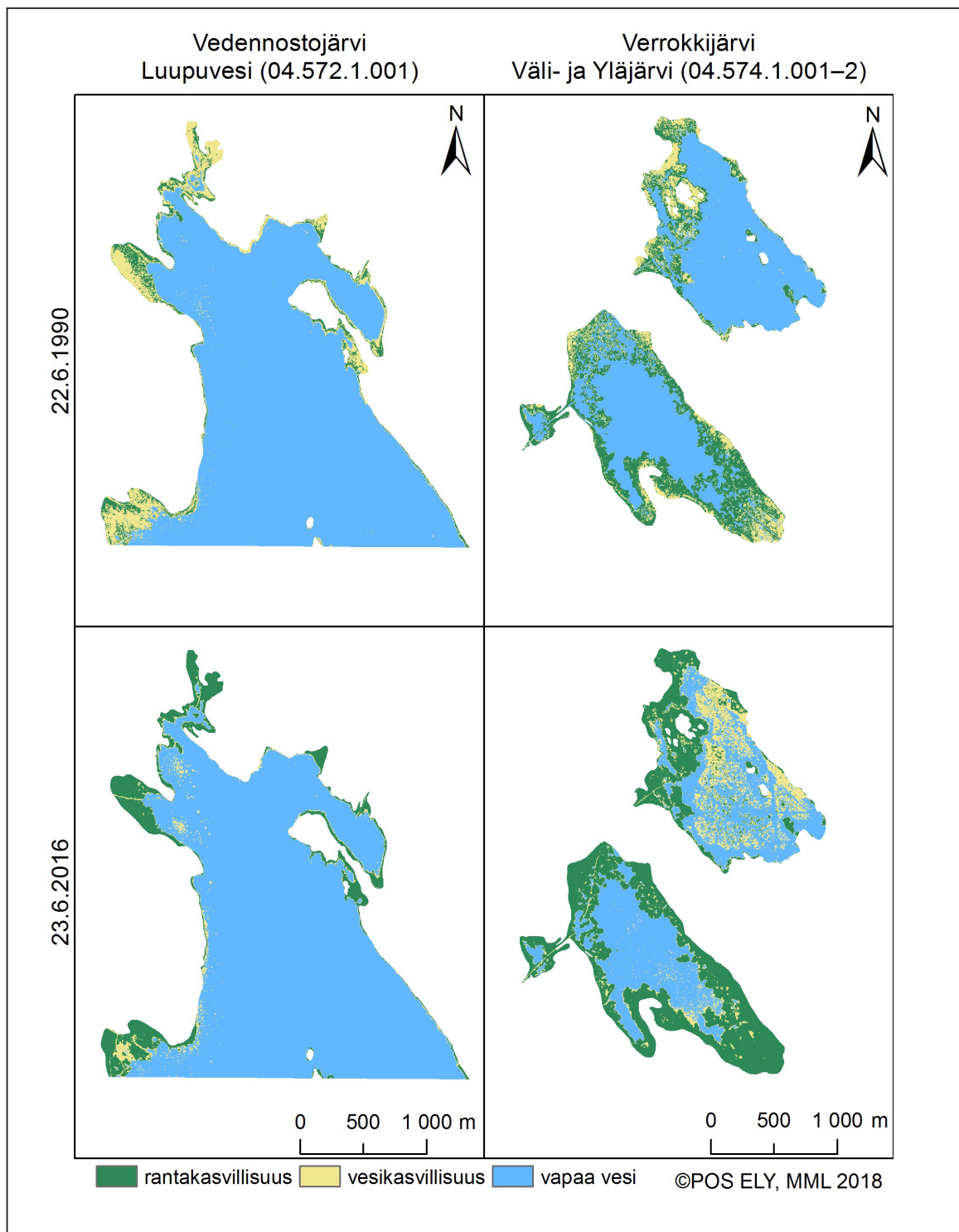


Kuva 19. Ranta- ja vesikasvillisuuden pinta-alan muutos vedenpinnaltaan nostettujen järvien ja niiden verrokkijärvien välillä ennen ja jälkeen noston.

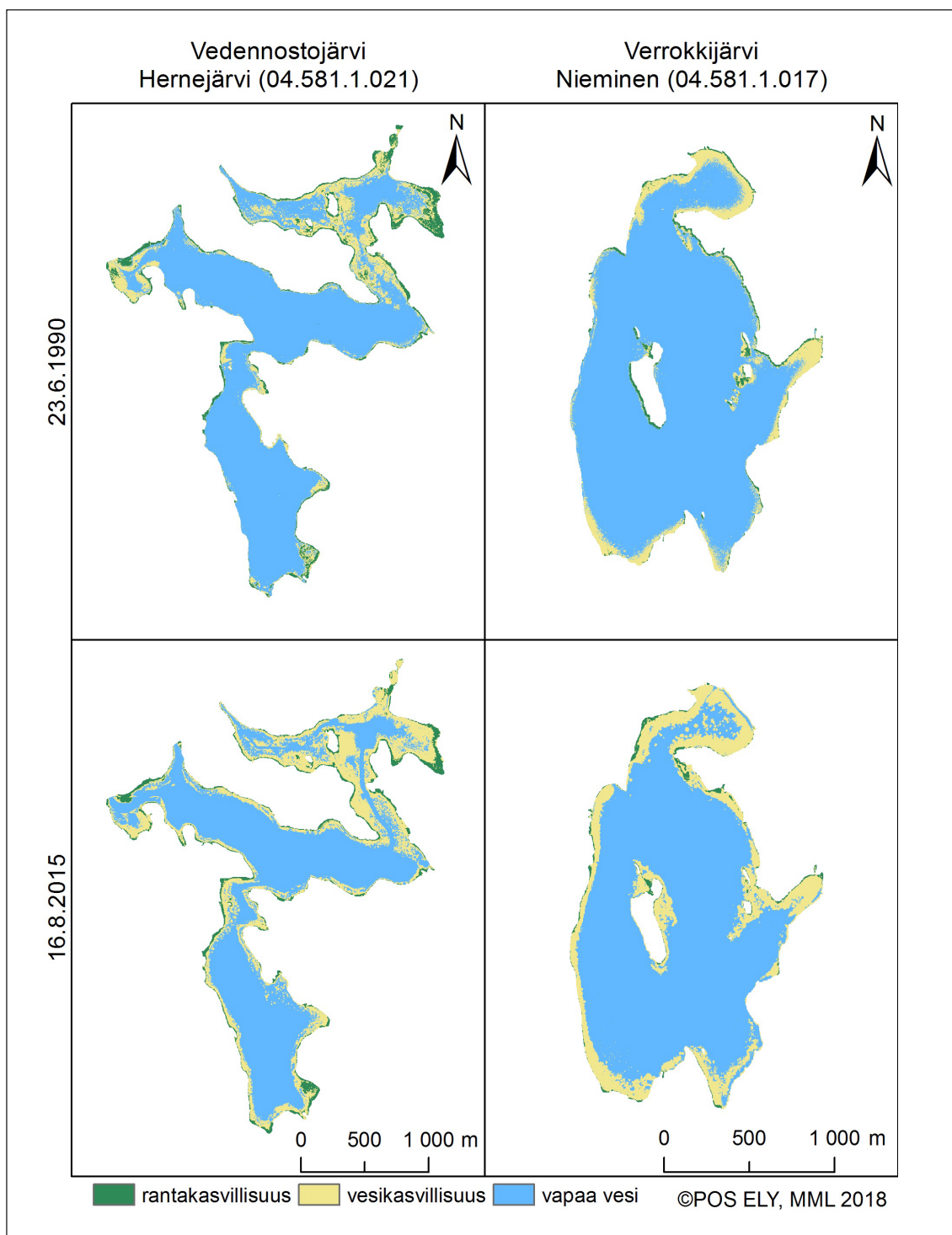


Kuva 20. Osmanginjärvi ja Valkeisjärvi kolmeen luokkaan luokiteltuna ennen ja jälkeen Osmanginjärven vedennoston.

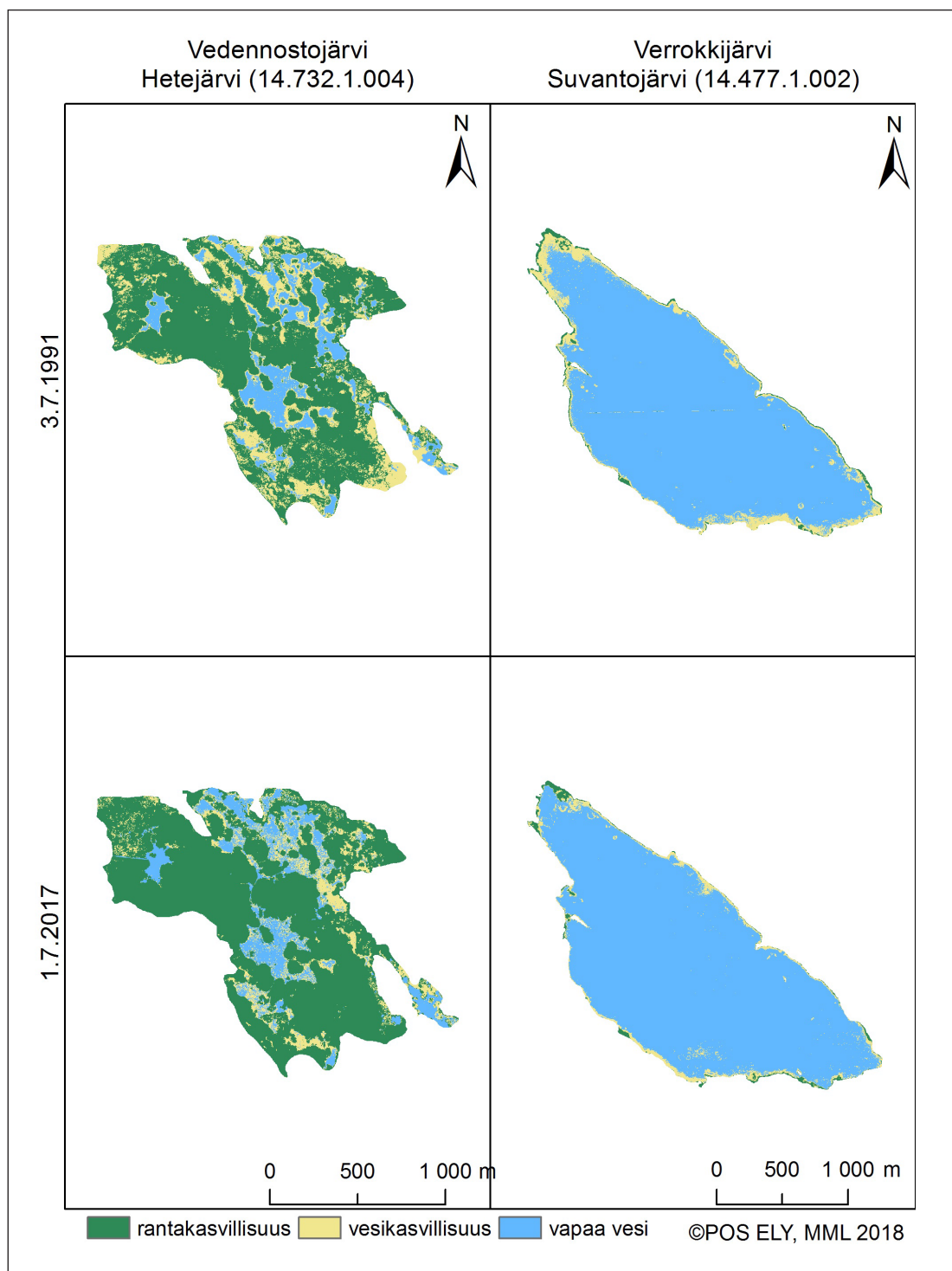




Kuva 21. Luupuvesi sekä Väli- ja Yläjärvi kolmeen luokkaan luokiteltuna ennen ja jälkeen Luupuvien vedennoston.



Kuva 22. Hernejärvi ja Nieminen kolmeen luokkaan luokiteltuna ennen ja jälkeen Hernejärven vedennoston.



Kuva 23. Hetejärvi ja Suvantojärvi kolmeen luokkaan luokiteltuna ennen ja jälkeen Osmanginjärven vedennoston.

## 4.4 Tarkastelu

Tulosten perusteella vedenpinnan nostamisella on kolmessa järviparissa neljästä haluttu vaikutus järvien tilaan – umpeenkasvukehitystä on pysäytetty. Vaikka vedennoston jälkeen -hetken kuvissa kasvillisuuden määrät olivat kasvaneet, selittyy se kuitenkin osin kuvauspäivämääristä ja vuosien välisistä eroista. Oleellista on huomata verokkijärviä vähäisempi kasvillisuuden lisääntyminen tutkimusjakson aikana.

Järvipari Hetejärvi–Suvantojärvin kohdalla vuonna 2017 oli kylmempi alkuvuosi kuin vuonna 1991, kun taas kolmen muun parin kohdalla vuosina 2015 ja 2016 alkuvuodet olivat selvästi lämpimämpiä kuin vuonna 1990. Kasvillisuuden suhteellisen pinta-alan ja kuvausajankohtien lämpösummien erotuksen välillä onkin kohtalainen positiivinen korrelaatio ( $r=0,36$ ). Tulosten osoittama kasvillisuuden rajukin lisääntyminen ei siis kaikilta osin ole todellista, vaan selittyy osin kuvausvuosien olosuhteiden erilaisuudella.

Lisäksi kuvista olisi hyvä huomata eroavaisuudet kuvausteknologiassa ja kuvien teknisessä laadussa. 1990-luvulla filmikameralla otetuissa väärävärikuissa kontrastit veden ja kasvillisuuden välillä ovat pehmeämpiä kuin 2010-luvun digitaalikuvissa. Tämä osaltaan hankaloitti NDVI-kynnysten määrittämistä. Kappaleessa 2.7 esitetyllä validointimenetelmällä arvioituna 1990-luvun kuvat olivat onnistuneesti luokituneet keskimäärin 85 %, kun taas 2010-luvun kuvilla sama luku oli 89 %.

Tutkimukseen valittujen järviparien kohdalla ei voida tehdä johtopäätöksiä vedenkorkeuksien toteutumien ja kasvillisuuden muutoksen välisestä suhteesta. Vedenkorkeuden nostohankkeen aikaansaama keski-vedenkorkeuden todellinen nousu oli Luupuvvedellä ja Hetejärvellä suurempi kuin Osmanginjärvellä ja Hernejärvellä (Sorvali 2017), mutta Luupuveden ja Hetejärven kasvillisuuspinta-alan muutos verrokkeihinsa

suhteutettuna ei silti ollut pienempi kuin Osmangin- ja Hernejärvillä.

Luupuveden tuloksia tarkastellessa tulee huomioda, ettei runsaita kasvustoja sisältävä eteläosa sisällynyt tutkimukseen. Tämä osaltaan heikentää järven edustavuutta tutkimukseen. Rantapuustosta aiheutuvia varjoja ei huomioitu. Varsinkin verrokkijärvi Niemen kohdalla ne aiheuttivat silmiinpistävää aliluokittumista.

Hetejärvi–Suvantojärvi-parin kohdalla poikkeavat tulokset voivat osin johtua vuoden 2017 kuvalle käytetystä erilaisesta tulkintamenetelmästä. Objektipohjaisessa analyysissä kaikkein pienialaisimmat kelluslehtiset kasvustot eivät muodosta omia segmenttejään, vaan ne sulautuvat ympäröivän veden segmentteihin. Suvantojärvellä on samassa kuvassa lisäksi korkeat aallot, mikä saattaa estää vesikasvillisuuden havaitsemista. Hetejärven kasvittuneisuusaste oli jo lähtötilanteessa poikkeuksellinen, eikä se ole yhtä hyvin verrannollinen Suvantojärveen kuin muissa järvipareissa. Varsinkin suhteellisen muutoksen arviointi on hankalaa kyseisen järviparin kohdalla.

Luupuvvedellä kasvillisuuden pinta-alan muutoksia kaukokartoitusaineistoista tutkittiin myös Valta-Hulkosen ym. (2004) tutkimuksessa. Siinä ilmakuvatulkinta tehtiin 12.9.1953, 8.8.1996 ja 27.7.2001 otetuista kuvista. Myös tässä tutkimuksessa havaittiin muutosta: ranta- ja vesikasvillisuuden yhteispinta-ala oli vähentynyt 27 % vuosien 1996–2001 välillä (lämpösummat kuvauspäivämäärinä 769 ja 702 °C vrk). Luupuveden kohdalla tuleekin huomata, että vedenpinnan noston lisäksi siellä tehtiin myös koneellista vesikasvillisuuden poistoa, mikä vaikuttaa tuloksiin.

Jatkossa tehdessä tämän tutkimuksen mukaisia analyyseja kannattaa huomioda yksityisten kuvausyritysten arkistojen hyödyntäminen. Näin tehtiin esimerkiksi Vallinkosken ym. (2004) tutkimuksessa. Optimaalisessa tilanteessa käytettävissä olisi ilmakuvia useammalta ajankohdalta ja kuvausajankohta olisi aina lähellä kasvukauden hetkeä, jolloin vesikasvillisuus on runsaimmillaan.

Käytetyllä tulkintamenetelmällä ei saada juurikaan tietoa uposkasvillisuudesta, joka kuitenkin voi olla herkimmin vedenkorkeuden muutokseen reagoiva elomuoto.

# 5 Pohdinta

## 5.1 Kuva-aineiston käyttökelpoisuus

Kansallisen kuvausohjelman aineisto ja sitä edeltävät MML:n kautta ladattavissa olevat ortokuvat eivät ole vesikasvitulkintaa varten laadultaan täydellisiä. MML kuvaa jossain määrin itse ilmakehän aineistoa, mutta myös muutamalta yritykseltä hankitaan ilmakehävauksia. Tilaajaosapuolien kuvaustarpeet (Maastotietokannan päivitys, peltolohkokisterin ylläpito, metsävaratietojen keruu) luovat laatuvarmistusta, sillä eri tarpeisiin voidaan käyttää erilaisia kuvauslaitteistoja ja kuvien jälkikäsittelyä. Vaikka ortokuvilla on tehty radiometrisia korjauksia ilmakehävauksien sävyeroille, sisältävät ne edelleen monin paikoin häiriöitä erityisesti vesialueilla. Tämän takia osa aineistosta on mahdotonta tulkita NDVI-kynnystämällä.

Esimerkkejä tulkintaa estävistä tekijöistä ortokuvissa on esitetty liitteessä c. Esitetyistä tapauksista on Tervajärven kuvassa näkyvä ilmiö yleisintä. Taulukko 11 taas osoittaa, kuinka eri kuvaajien tuottama aineistoa pystyttiin onnistuneesti hyödyntämään tilan arviointia varten valituilla järville. Ymmärrettävästi Suomen metsäkeskuksen tilaamat kuvat soveltuivat parhaiten, sillä metsävaratietojen keruussa aineiston tulee olla soveltuva kasvillisuuden tarkasteluun.

Toiviais- ja Rytkenjärvellä suoritettujen ilmakehävauksien väliset vertailut osoittivat visuaaliseen tulkintaan perustuneen validoinnin virheherkkyyden. Mahdollisuus tarkastella validointipisteitä monesta eri suunnasta tulevasta valaistuksesta ja eri laatuista kuvista antoi parempaa näkemystä esimerkiksi varjon alla olevien pikseleiden todellisesta luokasta tai muuten huonosti hahmotettavista pikseleistä. Validointi-

menetelmällä saatuihin luokittumisen onnistumisen tuloksiin tulee suhtautua varauksella.

## 5.2 Henkilöosaaminen

Hankkeessa kehitetyn tulkintamenetelmän käyttö ei vaadi syvällistä vesikasvillisuuden lajistoon liittyvää asiantuntemusta, mutta henkilöllä tulee olla jonkinlainen käsitys järvimakrofyyteistä, jotta tuloksin pystytään tekemään. Tämän hankkeen puitteissa ei pystytty tuottamaan seikkaperäistä esimerkkikuvasarjaa siitä, millä erilaiset kasvustot näyttäisivät erilaisissa ja eri aikaan otetuissa ilmakehävauksissa. Jatkossa tällaisen tulkintavälineen tuottaminen olisi kuitenkin hyödyllistä ja sen avulla voitaneen vähentää henkilöiden välistä vaihtelua tuloksin. Tässä menetelmässä lähtökohtana oleva rantakasvillisuuden ja saraikon muodostamien ja keskivedenpinnan yläpuolella pääosin sijaitsevien avoluhtien erottelu varsinaisen vesikasvillisuusvyöhykkeen (keskivedenpinnan alapuolella sijaitsevista) kaislikoista ja ruovikoista voi olla hankalaa. Ylipäätään käytetty kasvillisuuden jaottelu kahteen luokkaan voi olla käytännössä ongelmallinen, sillä erityisesti ilma-veroisen kasvillisuuden (erityisesti esim. järviruo'on kasvustojen) vähittäinen muutos rannalta syvempään veteen on tyypillisesti vähittäinen. Kasvittuneisuusasteen laskennassa joka tapauksessa käsitellään rant- ja vesikasvillisuuden yhteispinta-alaa, joten kasvillisuusluokkien täsmällinen ja toistettava erottelu ei ole tilaluokitusmenetelmän kannalta välttämätöntä. Myös validointitulosten perusteella ilmakehävauksien luokittelu kahteen luokkaan (kasvillisuus ja vesi) on luotettavampaa kuin kasvillisuustyyppien erottelu toisistaan.

Taulukko 11: Tulkintamenetelmällä luokittelun onnistuminen tilan arviointia varten valituilla järville

Kuvaaja	Tilaaja	Onnistuneet luokittelut	Epäonnistuneet luokittelut
Blom Kartta	Suomen metsäkeskus	24	5
Maanmittauslaitos	Maanmittauslaitos	7	8
SKM Gisair	Maaseutuvirasto	5	3
TerraTec	Maaseutuvirasto	0	1
<b>Yhteensä</b>		<b>36</b>	<b>17</b>



Tulkinnan tekeminen valmiilla ArcGIS-työkaluilla ei lähtökohtaisesti vaadi käyttäjältä edistynyttä ohjelmisto-osaamista. Työskentelemällä eri ohjelmisto-versioilla ja ohjelmiston käyttöratkaisuilla (esim. Citrix-sovelluksena käyttö verrattuna paikallisesti asennettuun ohjelmistoon) voi kuitenkin tuoda vikoja työkaluihin, jolloin käyttäjältä vaaditaan taitoja toteuttaa työvaiheet muulla tavalla ArcToolbox-työkalujen avulla. Mikäli menetelmä otetaan käyttöön laajemmin, tuleekin varata resursseja myös menetelmän vaatimien työkalujen ylläpitoon.

## 5.3 Menetelmän kustannukset

Ympäristöhallinnon Citrix-sovelluksena ArcGIS:iä käytettäessä tulkintaprosessissa (liite a ja b) kuluu ilmakuvan lataamisesta metakarttatasojen tekoon yhdellä järvellä aikaa noin puolitoista tuntia, kun luokitustulkinta ja varjomaski ovat tehtävissä yksillä kynnyksillä koko järvelle. Tilanteessa, jossa joudutaan käyttämään paikallista kynnystämistä ja/tai määrittämään varjomaskia vaihtoehtoisista indekseistä, prosessointiin käytettävä aika kasvaa 4-5 tuntiin. Nyrkkisääntönä annetaankin, ettei prosessoinnissa kannata edetä pidemmälle, mikäli luotettavan tulkinnan tekemistä varten NDVI-rasteri olisi jaettava yli viiteen osaan tulkinnan tekemistä varten.

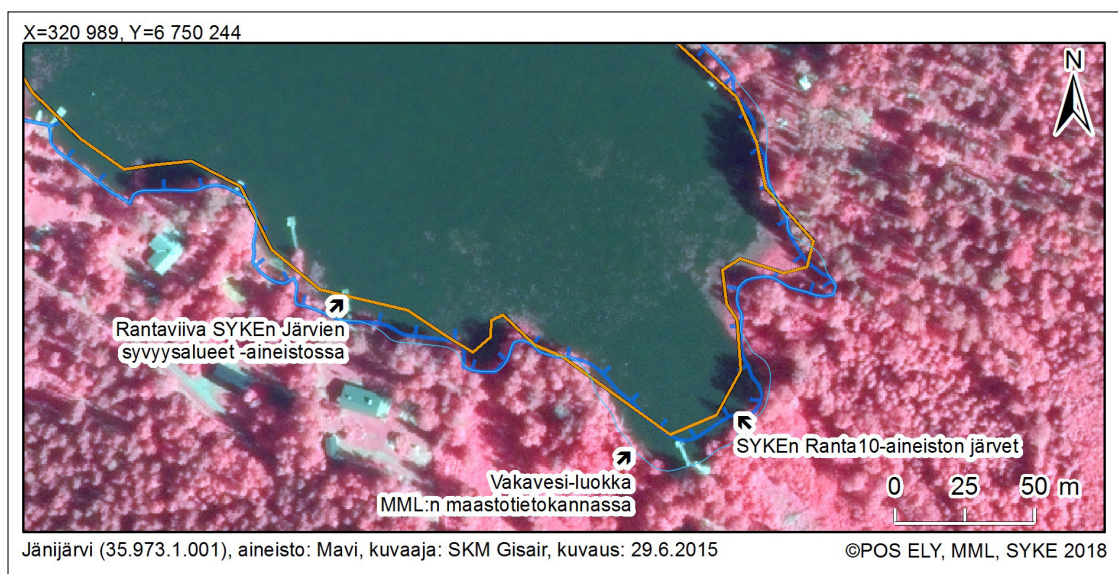
Menetelmän kustannukset koostuvat lähes pelkästään toimistolla tapahtuvasta henkilötyöstä sekä tarvittavien ohjelmistojen kuluista. Henkilötyön kus-

tannukset ja kulurakenne ovat hyvin vaihtelevia eri organisaatioiden välillä ja todellinen markkinahinta menetelmän soveltamiselle saataisiin ainoastaan käytännössä toteutettujen ostopalveluhankintojen kautta. Vesikasvillisuuden maastoseurannan (päävyöhykelinjamenetelmällä) kustannukseksi voidaan esim. ELY-keskuksen tekemien ostopalveluhankintojen perusteella arvioida keskimäärin 2000-2500 euroa/järvi vastaavan kokoluokan pienehköillä järvilla. Tähän kustannustasoon verrattuna ilmakuvatulkinta on joka tapauksessa järvikohtaisesti edullisempi tapa hankkia tietoa vesikasvillisuudesta. Tuotettava tieto on luonnollisesti hyvin erilaista, joten suora vertailu ei ole järkevää.

## 5.4 Muiden menetelmässä tarvittavien paikkatietoaineistojen puutteet

Tulkintamenetelmän kehittämisessä ja aineistoa kerätessä ortokuvat leikattiin Ranta10-aineiston polygonimuotoisilla järvikuvioilla. Kasvittumisastetarkastelua varten järvi tulee leikata rantaviivageometrialtaan yhtenäisen syvyysvyöhyke-paikkatiedon kanssa. Tätä varten Ranta10-aineisto ja SYKE:n Järvien syvyysalueet-aineisto ovat lähtökohtaisesti yhdessä käyttökelpoiset, joskin yksittäisillä järvilla aineistoissa on huomattaviakin eroja (kuva 24).

Ranta10-aineiston hyödyntämisessä on kuitenkin se heikkous, etteivät kuvioiden geometriat ole tällä hetkellä täysin yhteneviä todellisen rantaviivan



Kuva 24. Rantaviiva-aineistojen väliset erot Jänijärvellä.

kanssa (kuva 24). Leikattuun kuvaan saattaa sisältyä rannan puustoa, joka luokituu rantakasvillisuudeksi. Tarkemman geometrian järvikuvioille tarjoaisi maastotietokanta, joka on MML:n sijainniltaan tarkin valtakunnallinen maastoa kuvaava aineisto. SYKEN VesiPeto-hankkeessa ollaankin valmistelemaan järvipaikkatietojen geometrioiden siirtämistä osaksi MML:n Kansallista maastotietokantaa.

Yhtenä vaihtoehtona vesialueiden leikkaamiseen ortokuvissa voitaisiin käyttää vesi- ja maa-alueet erottelevaa segmentointia. Tästä lähestymistavasta tässä tulkintasovelluksessa kuitenkin luovuttiin, sillä se olisi tuonut yhden aikaa vievän lisätulkintavaiheen lisää prosessointiin. Segmentointiin ongelmansa toisi myös esimerkiksi rantaluhdan luotettava erotteleminen muusta maa-alueesta, veteen ja maalle lankeavien varjojen erottelu sekä esimerkiksi tulvaniittyjen huomiointi. Menetelmää sovellettaessa käyttökelpoisin lähestymistapa on valmiin, mahdollisimman tarkan rantaviiva-aineiston käyttäminen.

## 5.5 Kehittämistarpeet

Hankkeessa onnistuttiin luomaan kustannustehokas ja validoitu tulkintamenetelmä ranta- ja vesikasvillisuuden erottelemiseksi kansallisen kuvausohjelman ilmakuville, mutta kuvausohjelman tuottama aineisto ei kaikilta osin ole riittävän laadukasta eikä kattavaa, jotta tapauskohtaiset tarpeet vesikasvillisuuden runsastumisen seurannalle voitaisiin täyttää. Menetelmä soveltuukin parhaiten kartoitusluonteiseen ja tilastolliseen otantaan perustuvaan järvien tila-arviointiin kuin

tietyn järven tai järvijoukon systemaattiseen seurantaan.

Hankkeessa saatiin lupaavia tuloksia kasvittumistasemuuttujan toimivuudesta järvien kasvillisuuden tilaa kuvaavana muuttujana. Tilaluokittelumenetelmän kehittämistä tulee kuitenkin jatkaa ja erityisesti kerätä lisää vertailutilaa edustavaa aineistoa ja kehittää vertailuolojen mallinnusta, jotta voidaan luoda käytännön tilanarviointitarpeita palveleva luokittelusovellus.

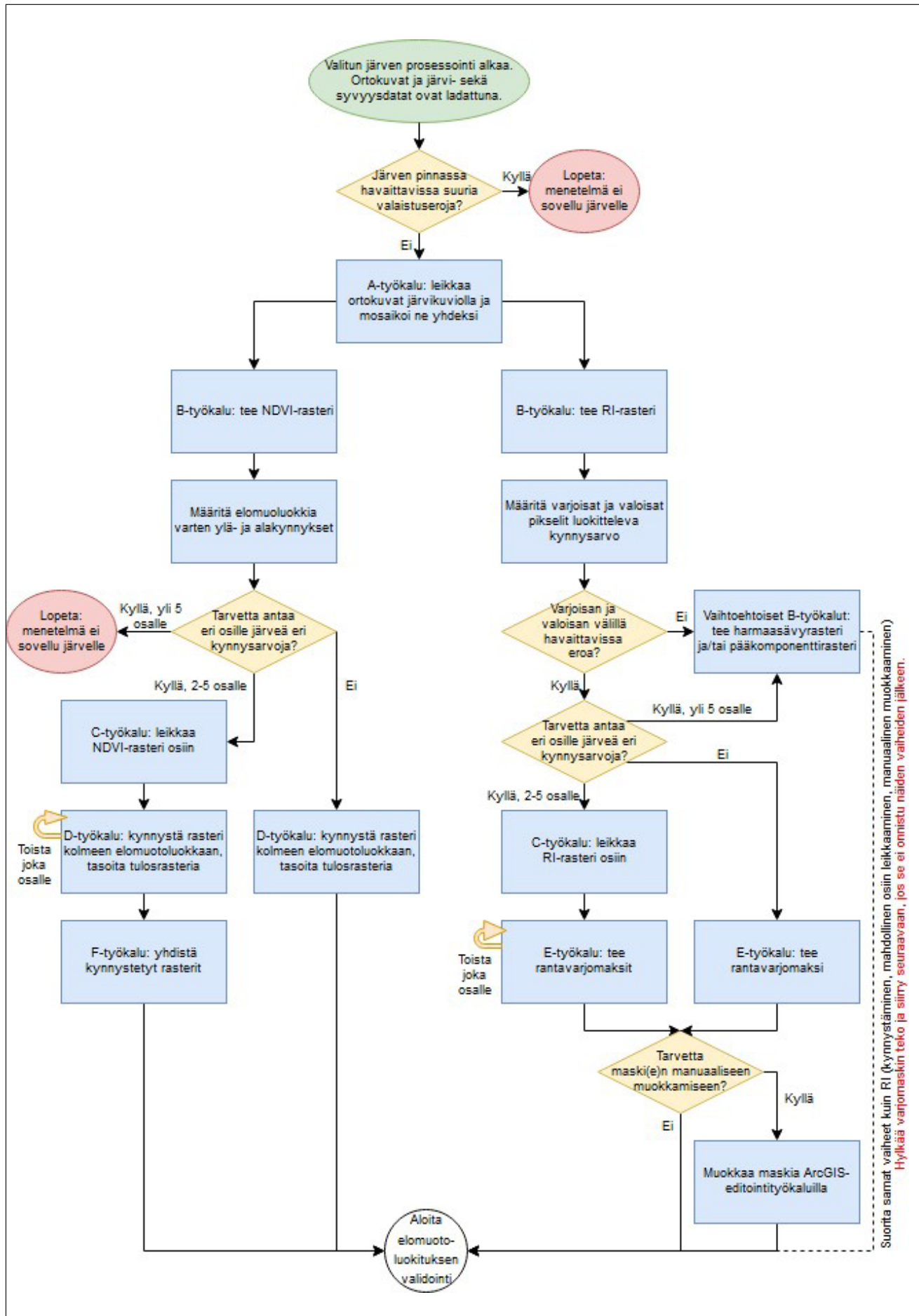
Mikäli vapaasti latauspalvelun kautta ladattava ortokuva-aineisto ei jollakin tietyllä kohteella ole riittävän laadukas vesikasvillisuuden tulkintaan, käyttäjä voi tilata MML:n arkistosta myös muita ilmakuvia. Tämä tarkoittaa samalla kuitenkin tulkintaprosessiin lisäkäsitelyvaiheita ja sitten tarvittavan työmäärän lisääntymistä. Muita rinnakkaisia menetelmiä tarvitaan täydentämään kansallisen kuvausohjelman tuottaman aineiston kattavuutta. Yksi mahdollisuus ovat tarkan resoluution kaupalliset satelliittikuvat isommilla järvillä ja toisaalta miehittämättömillä ilma-aluksilla tehtävät kuvaukset pienehköillä järvillä. Molemmissa tapauksissa kaukokartoitusaineistoa tuotetaan varta vasten ko. käyttötarkoitusta varten, jolloin aineiston tuottamisesta väistämättä aiheutuu kustannuksia, toisin kuin kansallisen kuvausohjelman avoimen aineiston ilmakuvia käytettäessä. Lisäksi erilaisen maasto- ja mahdollisesti spektrisen resoluution aineistot tuottavat lähtökohtaisesti eritasoista tietoa kasvillisuudesta, joten esimerkiksi tilanarviointimuuttujat on kalibroitava jokaiselle aineistolle erikseen.

# 6 Kirjallisuus

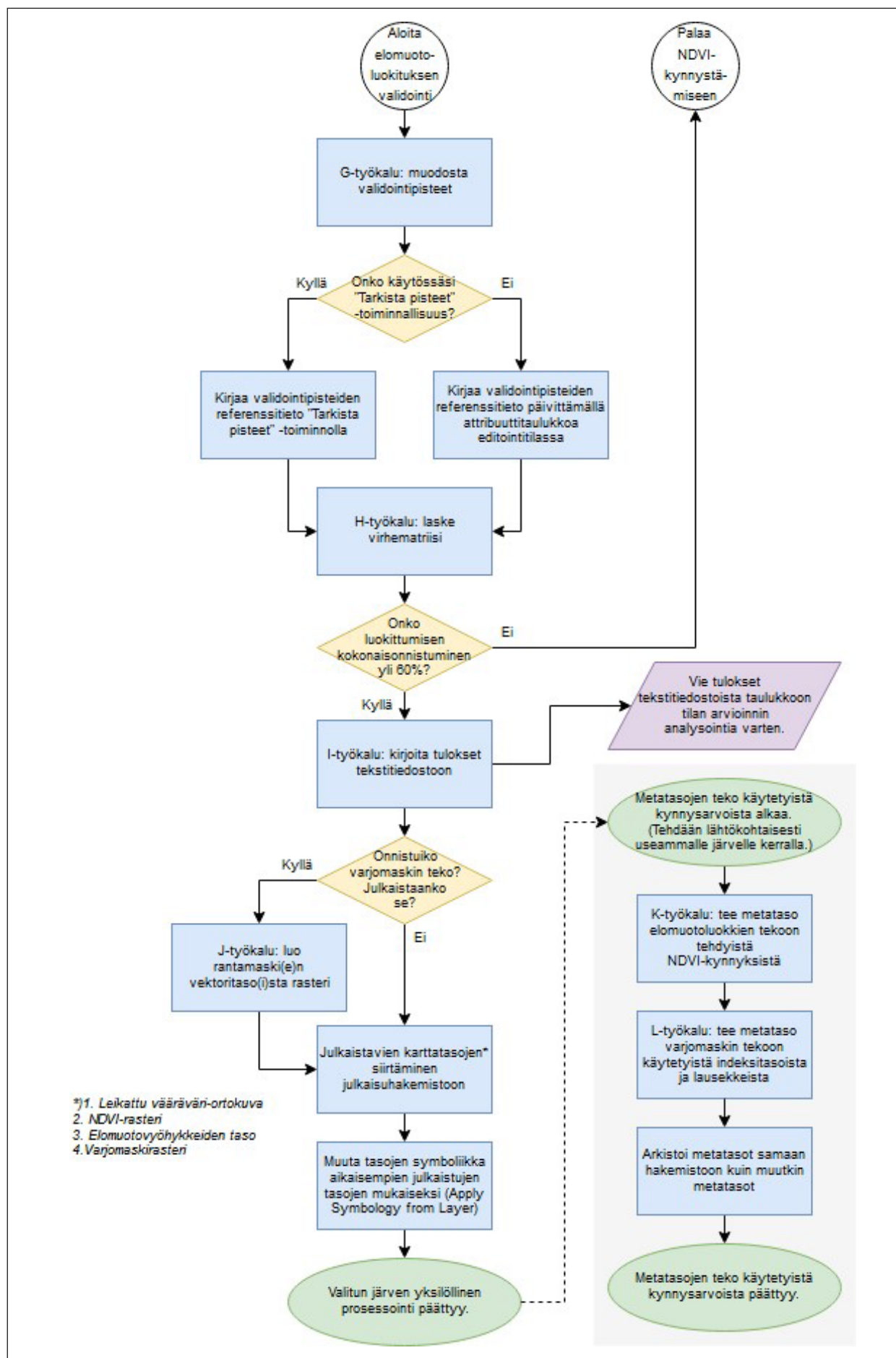
- Breiman, L., 2001. Random Forests. *Machine Learning* 45(1). 5–32.
- Casado M. R., R. B. Gonzalez, T. Kriechbaumer & A. Veal, 2015. Automated Identification of River Hydromorphological Features Using UAV High Resolution Aerial Imagery. *Sensors*, 15(11), 27969–27989.
- Cutler, D. R., T. C. Edwards, K. H. Beard, A. Cutler & J. J. Lawler, 2007. Random forests for classification in ecology. *Ecology* 88(11). 2783–2792.
- Ekebon J. & Erkkilä A., 2003. Using aerial photography for identification of marine and coastal habitats under the EU's Habitats Directive. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13, 287–304.
- Escadafal, R. & A. Huete, 1991. Improvement in remote sensing of low vegetation cover in arid regions by correcting vegetation indices for soil "noise". *Comptes Rendus - Academie des Sciences, Serie II*. 312. 1385–1391.
- Everitt J. H., C. Yang, R. S. Fletcher, M. R. Davis & D. L. Drawe, 2004. Using Aerial Color-infrared Photography and Quick-Bird Satellite Imagery for Mapping Wetland Vegetation. *Geocarto International* 19(4). 15–22.
- Haggrén, H. & E. Honkavaara, 2005. Luento 7: Ortokuvien tuottaminen. <[https://foto.aalto.fi/opetus/220/luennot/7/L7\\_2005.pdf](https://foto.aalto.fi/opetus/220/luennot/7/L7_2005.pdf)> Luentomateriaali. Alkuperäinen luento 11.10.2002. Muutoksia 25.9.2005.
- Genuer, R., J.-M. P. & C. Tuleau-Malot, 2015. VSURF: An R Package for Variable Selection Using Random Forests. *The R Journal, R Foundation for Statistical Computing*, 2015, 7 (2).19–33.
- Leka, J., Valta-Hulkkonen, K., Kanninen, A., Partanen, S. Hellsten, S. Ustinov, A., Ilvonen, R. ja Airaksinen, O. 2003: Vesimakrofyytit järvien ekologisen tilan arvioinnissa ja seurannassa. Maastomenetelmien ja ilmakuvatulkinta käyttökel- poisuuden arviointi Life Vuoksi-projektissa. Etelä-Savon ympäristökeskus ja Pohjois-Savon ympäristökeskus, Alueelliset ympäristöjulkaisut nro. 312. 96 s. Gummerus Kirjapaino Oy, Saarijärvi.
- Lillesand, T. M., R. W. Kiefer & J. W. Chipman, 2004. Remote sensing and Image Interpretation. 5. p. 763 s. John Wiley & Sons.
- Kanninen, A. 2012. Aquatic macrophytes in status assessment and monitoring of boreal lakes. *Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science* 254, 50 s.
- Ma J.C. & K. Natha, 2014. Integration of Multispectral Satellite and Hyperspectral Field Data for Aquatic Macrophyte Studies. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-8, 581–588
- Maanmittauslaitos 2016. Kansallinen ilmakuvausohjelma käynnistyy. <<https://www.maanmittauslaitos.fi/ajankohtaista/kansallinen-ilmakuvausohjelma-kaynnistyy>> Julkaistu 16.2.2016.
- Maanmittauslaitos 2018. Maanmittauslaitoksen ortokuva, <<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/ortokuva>> Katsottu 11.6.2018.
- Marshall T. R. & P. F. Lee, 1994. Mapping aquatic macrophytes through digital image analysis of aerial photographs: an assessment. *Journal of Aquatic Plant Management* 32: 61–66.
- Meriläinen, J. & H. Toivonen, 1979. Lake Keskimmäinen, dynamics of vegetation in a small shallow lake. *Acta Botanica Fennica* 16, 123–139.
- Rouse J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, D. W. Deering & J. C. Harlan, 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351*, 3010–317.
- Partanen S. & S. Hellsten, 2005. Changes of emergent aquatic macrophyte cover in seven large boreal lakes in Finland with special reference to water level regulation. *Fennia* 183: 1. 57–79.
- Partanen S., M. Luoto & S. Hellsten, 2009. Habitat level determinants of emergent macrophyte occurrence, extension and change in two large boreal lakes in Finland. *Aquatic Botany* 90. 261–268.
- Shahtahmassebi, A., N. Yang, K. Wang, N. Moore & Z. Shen, 2013. Review of Shadow Detection and De-shadowing Methods in Remote Sensing. *Chinese Geographical Science* 23(4). 403–420.
- Sorvali, V., 2017. Järven vedenpinnan noston vaikutukset vedenkorkeuksiin ja vedenlaatuun. Opinnäytetyö. Tekniikan ja liikenteen ala, Savonia-ammattikorkeakoulu. 61 s.
- Strong, C. J., N. G. Burnside & D. Llewellyn, 2017. The potential of small-Unmanned Aircraft Systems for the rapid detection of threatened unimproved grassland communities using an Enhanced Normalized Difference Vegetation Index. *PLoS One* 12(10): e0186193.
- Teke, M., E. Başeski, A. Özgün Ok, B. Yüksel & Ç. Şenaras, 2011. Multi-spectral False Color Shadow Detection. *Photogrammetric Image Analysis: ISPRS Conference, PIA 2011, Munich, Germany, October 5-7, 2011. Proceedings*. 109–119.
- Ulvi, T. & E. Lakso (toim.), 2005. Järven kunnostus. 336 s. Ympäristöopas 114. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Vahtmäe E. & T. Kutser, 2013. Classifying the Baltic Sea Shallow Water Habitats Using Image- Based and Spectral Library Methods. *Remote Sensing* 5(5). 2451–2474.
- Vallinkoski, V.-M., A. Kanninen, J. Leka & R. Ilvonen, 2004. Vesikasvillisuus pienten järvien tilan ilmentäjänä. Ilmakuvatulkintaan ja maastoseurantoihin perustuvat ekologisen tilan mittarit. *Suomen ympäristö* 725. 90 s.

- Valta-Hulkkonen K., S. Partanen & A. Kanninen, 2003a. Remote Sensing as a Tool in the Aquatic Macrophyte Mapping of a Eutrophic Lake: a Comparison Between Visual and Digital Classification. Conference: ScanGIS'2003 - The 9th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science, 4-6 June 2003, Espoo, Finland - Proceedings.
- Valta-Hulkkonen K., P. Pellikka, H. Tanskanen, A. Ustinov & O. Sandman, 2003b. Digital false colour aerial photographs for discrimination of aquatic macrophyte species. *Aquatic Botany* 75. 71–88.
- Valta-Hulkkonen K., A. Kanninen & P. Pellikka, 2004a. Remote sensing and GIS for detecting changes in the aquatic vegetation of a rehabilitated lake. *International Journal of Remote Sensing*, 25:24, 5745–5758.
- Valta-Hulkkonen K., P. Pellikka & J. Peltoniemi, 2004b. Assessment of Bidirectional Effects over Aquatic Macrophyte Vegetation in CIR Aerial Photographs. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 70: 5. 581–587.
- OH 3/2009. Vuori K.-M., Mitikka S. & Vuoristo H. (toim.): Pintavesien ekologisen tilan luokittelu. Osa I: Vertailuolot ja luokan määrittäminen. Osa II: Ihmistoiminnan ympäristövaikutusten arviointi. –Ympäristöhallinnon ohjeita 3/2009. Suomen ympäristökeskus. 120 s. ([www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi) > Palvelut ja tuotteet > Julkaisut > Ympäristöhallinnon o... > Ympäristöhallinnon o... > OH3/2009 Pintavesien ekologisen tilan luokittelu)
- Wolter P. T., C. A. Johnston & G. J. Niemi, 2005. Mapping submergent aquatic vegetation in the US Great Lakes using Quickbird satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 26:23, 5255–5274.

# Prosessikaavio vesikasvillisuuden tulkintamenetelmälle







# Ohjeet tulkintasovelluksen käyttöön hankkeessa kehitetyillä ArcGIS-työkaluilla

NDVI-kynnystykseen perustuvaan tulkintamenetelmää varten hankkeessa kehitettiin sarja ArcGIS-työkaluja. Niiden avulla käyttäjä prosessoi orto-oikaistun väärävärin kuvan järvimakrofyyttien runsautta kuvaavaksi teemakartaksi ja kasvittuneisuusasteen analysoimiseen liittyviksi tunnusluvuiksi. Prosessoinnit tehdään *ArcGIS 10 for Desktop* –työasemasovelluksen ArcMap-komponentilla. Työkalujen käyttöön riittää työasemasovelluksen Basic-lisenssitaso, mutta käyttäjällä tarvitsee *Spatial Analyst* –laajennusta.

## 1 Ladattavat aineistot

Kansallisessa ilmakuvausohjelmassa tuotetut ortokuvat ovat ladattavissa Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen tiedostopalvelusta: <https://www.maanmittauslaitos.fi/asioi-verkossa/avoimien-aineistojen-tiedostopalvelu>. Ortokuvat ovat jaossa TM35FIN 6x6 km<sup>2</sup> karttalehdittäin ja palvelun kautta voi ladata kart-

talehden kattavan uusimman ilmakuvan. Arkistoituja vanhempia kuvia (myös ohjelmaa edeltävilta vuosilta) voi tilata maksullisesti Maanmittauslaitoksesta. Vaihtoehtoisesti arkistoidut ortokuvat ovat avoimesti ladattavissa vuosilta 2008–2016 Kapsi-sivustolta: <http://kartat.kapsi.fi/>.

SYKE tarjoaa avoimina aineistoina polygonimuotoisina vektoritasoina Ranta10-aineiston järviä (järven alueella olevien pikseleiden leikkaamiseen ortokuvista) ja järvien syvyysalueita (kasvittuneisuusasteen määrittäminen syvyysvyöhykkeittäin). Kyseiset aineistot ovat ladattavissa SYKEN avoimen tiedon sivuilta: [http://www.syke.fi/fi-FI/Avoin\\_tieto/Paikkatietoaineistot](http://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Paikkatietoaineistot).

Hankkeessa kehitetyt työkalut ovat ladattavissa pakattuna zip-tiedostona seuraavalta sivulta: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=902e501b25c4413b9bd8f13bf750ae9> (kuva b1). Käyttäjän tulee purkaa tiedosto haluamaansa hakemistoon ja hakea ArcGIS-ohjelmistolla kansioyhteys sinne.

GP tools: lake macrophyte coverage on CIR images

Yleiskuvaus

GP tools: lake macrophyte coverage on CIR images

Geoprocessing Sample tekijältä juhovilm

Luotu: 30.7.2018 Päivitetty: 21.8.2018 Katselukertojen määrä: 30

Kuvas

Step-by-step geoprocessing tools to interpret lake macrophyte coverage on CIR images. Tools GUIs are in Finnish, but explanations in English are written in the help sections. Developed by ELY Center for North Savo (project ILMAVERSO).

Tools are optimized for using NLS orthoimages and SYKE's Järvi10 and lake depth profile datas.

Developed with ArcGIS for Desktop 10.5.1 Basic License.  
Tools are used with ArcMap component.  
Requires Spatial Analyst Extension.

Step-by-step tools:

A: Leikkaa rasteri järvi-kuviolla / Extract Raster with a Lake Feature

B: Laske indeksirasterit / Produce Index Rasters

Lataa

Yksityiskohdat

Koko: 191 KB

★★★★★

f t g

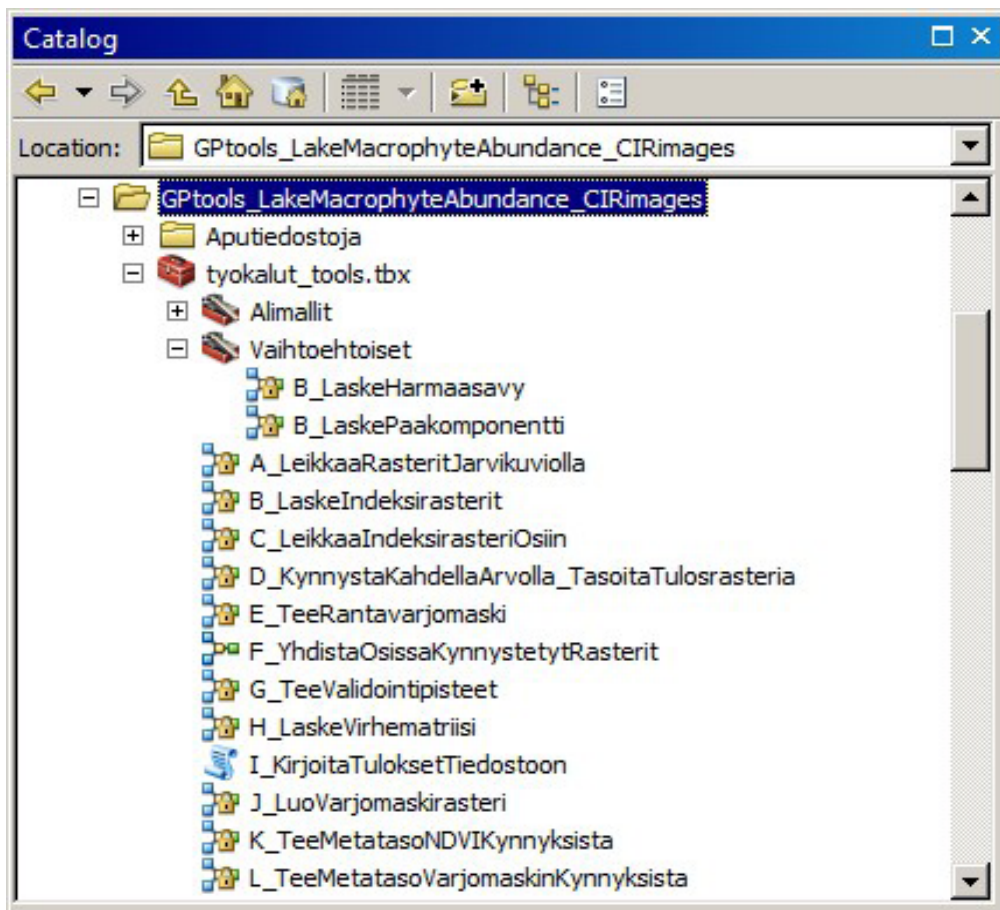
Omistaja

juhovilm

Tunnisteet

Environmental Management, Geoprocessing Sample, ArcGIS for Desktop, Python, raster, CIR images, false-color images, remote sensing, aerial photography, geoprocessing,

Kuva b1. Kehitetyt geoprosessointityökalut ArcGIS-sivustolla.



Kuva b2. Kehitetyt geoprosessointityökalut kataloginäkyessä.

## 2 Järven ilmakuvatilanteen tarkistaminen

Tilanteen tarkistamiseksi, että onko kiinnostuksen kohteen olevalta järveltä sopivaa ilmakuvaa tarjolla, tarkistetaan MML:n "Maastotiedon ylläpito" –sivulta: <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/maastotiedot-ja-niiden-hankinta/maastotiedon>. Tiedot voi tarkistaa joko sivulle upotetusta karttaesityksestä tai sen alta ladattavista ilmakeu- ja ortokuvatason –aineistoista (pakattuja shp-tiedostoja).

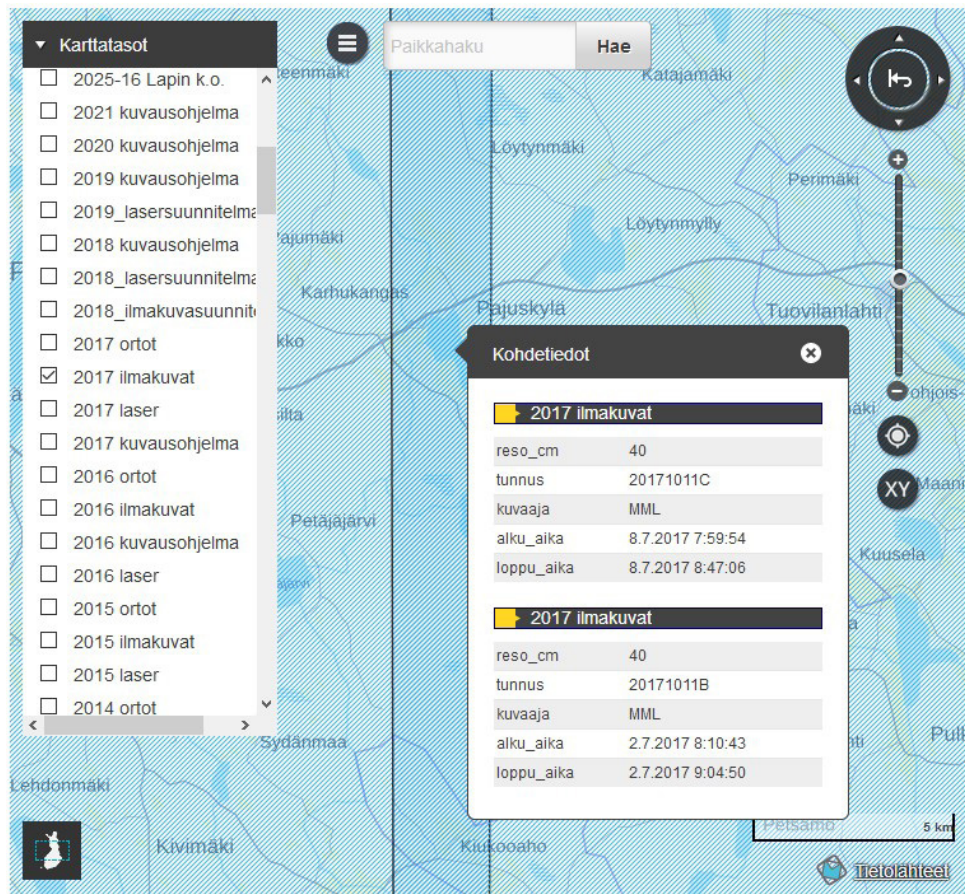
Esimerkkitapauksessamme tietoja tarkistetaan eräältä Iso-Pajunen-nimiseltä järveltä. Valitsemalla 2017 ilmakuvat-tason (ks. kuva b3) huomataan, että kahtena eri päivänä suoritettavat kuvaukset ovat kattaneet järven kyseisenä vuotena. Klikkaamalla järven kohdasta avautuu Kohdetiedot-kontekstivalikko, josta huomataan, että kuvaukset ovat tehty ajankohdaltaan sopivina ajankohtina 2.7.2017 ja 8.7.2017. Konteksti-

valikon tiedot tunnuksesta, kuvaajasta ja kuvauspäivämäärästä tulee kirjoittaa ylös myöhempää käyttöä varten.

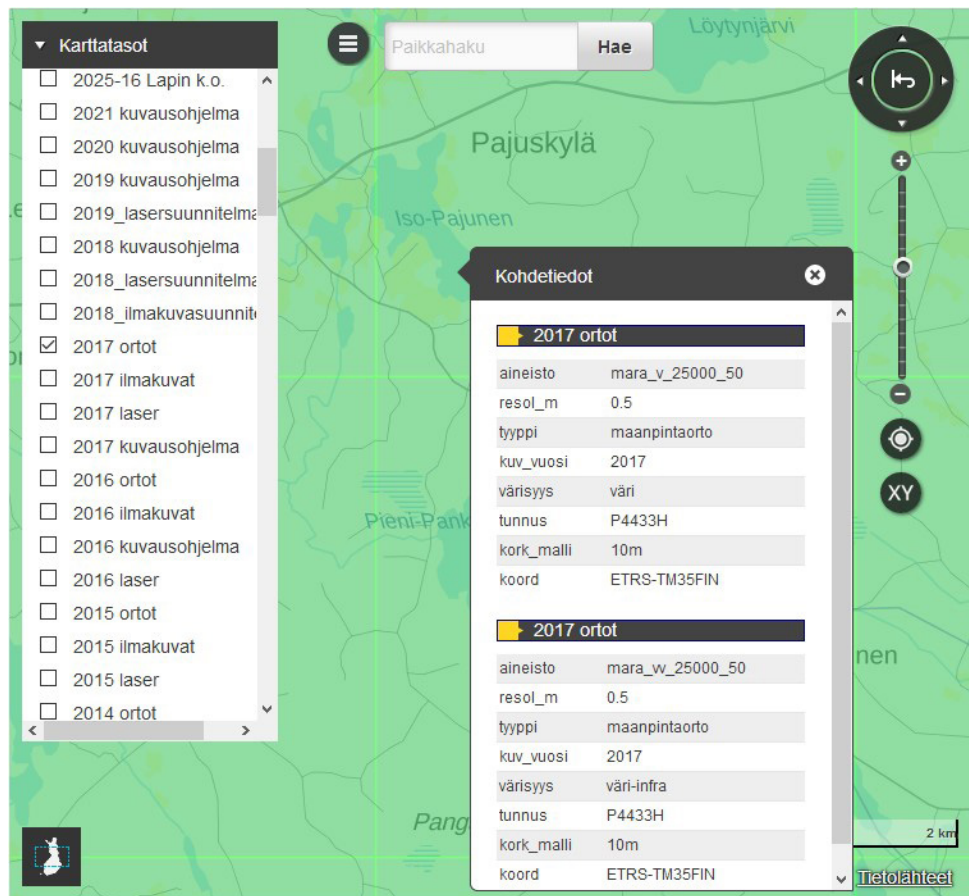
Valitsemalla 2017 ortot –tason (kuva b4) tarkastetaan, että ilmakeuvista ladottu ortokuvapintakin kattaa koko järven. Klikatessa avautuvasta kontekstivalikosta kirjoitetaan ylös tiedot aineistosta ja (peruskarttalehti) tunnuksesta myöhempään käyttöä varten.

Ladattavissa olevista ortokuvista ei ole suoraan saatavilla sitä tietoa, että minkä päivämäärän kuvauksista mikin ortokuvan pikseli on. Esimerkkitilanteessa joudutaan tyytymään, että Iso-Pajusen pikselit ovat joko 2.7.2017 tai 8.7.2017. Tilanne on hankala etenkin, jos järven kattaneet ilmakeuvaukset ovat tehty sekä aikavälin 1.7.–10.9. sisällä että sen ulkopuolella. Tällöin käyttäjän tulee tulkita itse, että missä kohdassa menee raja kuvauspäivien välillä.





Kuva b3. Ilmakuvaustietojen tarkistaminen MML:n Maastotiedon ylläpito -sivun karttaupotteesta.



Kuva b4. Ortokuvatietojen tarkistaminen MML:n Maastotiedon ylläpito -sivun karttaupotteesta.

### 3 Huomautukset ennen työkalujen käyttöä

Työkalut kehitettiin ohjelmiston versiolla 10.5.1, jota käytettiin ympäristöhallinnon Citrix-sovelluksena. Työkalujen kehitystyössä prosessoidut tulostiedostot tallennettiin systemaattisesti geodatabase-formaatin rasteri- ja vektoritasoiksi (*raster dataset*, *feature dataset*). Vaikka työkaluihin on jätetty vaihtoehdoksi tiedostojen prosessoiminen myös muunlaisiksi tiedostoiksi, B-työkalujen käyttäminen JPEG 2000- tai GeoTIFF-tiedostomuodossa tuotti virheitä. Onkin suositeltavaa luoda uusi geodatabase-kanta ja tallentaa työkaluilla prosessoidut tulostiedostot sinne.

Geoprosessointityökalut toimivat niin, että niihin tuotavat aineistot on tuotava hakemiston kautta, muttei sisällysluettelosta. Tämä tarkoittaa sitä, ettei käyttäjä voi raahata sisällysluettelon tasoja tuotavien aineistojen kenttiin, vaan käyttäjän tulee raahata aineisto joko kataloginäkymästä tai valitsemalla hakemistosta kansio kuvakkeen kautta. Työkalujen käytössä on ollut ongelmia, kun työkaluissa käytettävät aineistot ovat olleet auki (näkyvissä tai ei) myös ArcMap-sisällysluettelossa (esimerkiksi D-työkalua käyttäessä tapahtuu virhe, jos NDVI-rasteri on avoina sisällysluettelossa, kun sitä käytetään työkalussa). Saadessasi virheilmoituksen työkalujen käytöstä koikeile poistaa taso sisällysluettelosta ja käynnistää työkalu uudelleen.

### 4 Työkalujen käyttöliittymät ja ohjetekstit

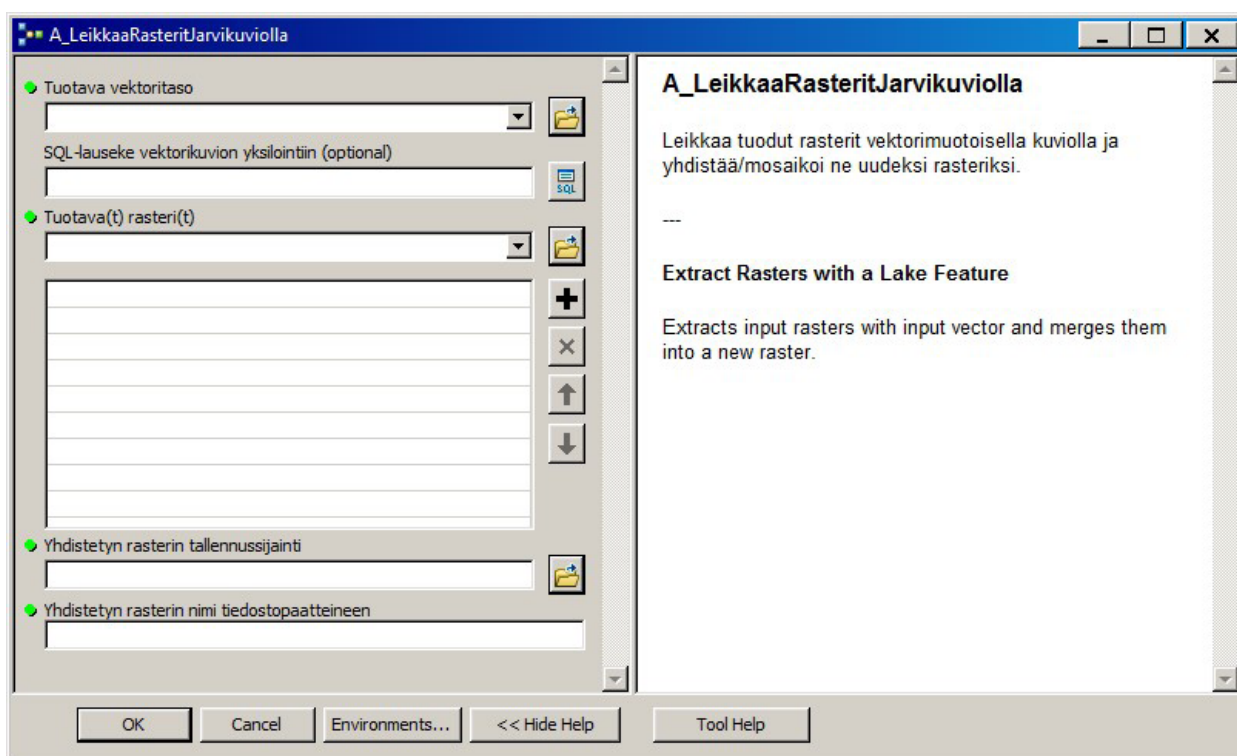
Työkalu käynnistetään kaksoisklikkaamalla sitä kataloginäkyvässä. Ruudulle avautuu uudessa ikkunas- sa työkalun suomenkielinen käyttöliittymä. Työkalun yleisluonteinen toimiminen on selitettynä ohjetekstiin, joka avautuu *Show Help >>* -painikkeesta. Klikkaamalla käyttöliittymän vasemmassa reunassa olevia kenttiä ohjeteksti muuttuu kenttäkohteiksi.

Työkalujen toimintaa ei lähdetä seikkaperäisesti selittämään enää tässä liitteessä, vaan sillä ne ovat nähtävissä käyttöliittymiin upotetuissa ohjeteksteissä. Tämä liite tekee kuitenkin yksittäisiä tarkennuksia työkalujen käytöstä.

### 5 Ortokuvien leikkaaminen järvi-kuviolla

Ortokuvien leikkaamiseen järvi-kuviolla on kehitettynä A-työkalu, joka ensin leikkaa kaikki tuotavat rasterit valitun polygonivektoritason kuviolla ja lopuksi yhdistää (mosaikoi) ne uudeksi yhtenäiseksi rasteriksi (kuva b5).

- Jos tuotavasta vektoritasosta ei valitsemalla yksilöidä mitään kuviota, työkalusta tuotavaan tulos-rasteriin tallentuu kaikki ortokuvan alueella vektoritason kuvioiden kanssa päällekkäiset pikselit.



Kuva b5. A-työkalun graafinen käyttöliittymä.



- Tuotavan vektoritason kuvion yksilöinti voidaan tehdä SQL-attribuuttikyselyllä. Vaihtoehtoisesti voit ensin valita kuvion ArcMapissa karttanäkymässä valintatyökalulla klikaten ja toiseksi tuoda A-työkalun tuotavan vektoritason kenttään raahata valitun kuvion taso sisällysluettelossa (huomaa poikkeus edellä mainittuun kehoitteeseen välttää tuotavien aineistojen tasojen pitää auki sisällysluettelossa). Jätä tällöin SQL-attribuuttikyselyn kenttä tyhjäksi.
- Kuviolla leikatut rasterit tallennetaan ennen yhdistämistä Scratch geodatabase –hakemistoon, jonka tarkoituksena on olla väliaikainen paikka kustomoitujen geoprosessointityökalujen aineistojen kirjoittamiselle. Scratch GDB:n aineisto ei deletoidu automaattisesti, joten muistin vapauttamiseksi käyttäjän tulee tyhjentää se manuaalisesti.
- Jos leikattavana on vain yksi rasteritiedosto, kannattaa operaatio suorittaa sujuvimmin A-työkalun sijasta ArcToolboxissa valmiiksi löytyvästä *Extract By Mask (Spatial Analyst)* –työkalulla.
- Työkalujen testaus paikallisesti asennetulla ArcGIS Desktopilla (versio 10.5.0.6491) tuotti virheellisesti järvi kuviolla leikatun tulosrasterin. Kyseiseen rasteriin sisältyi pikseleitä muualtakin kuin vain järvikuvion kohdalta. Syynä tähän oli virhe *Extract By Mask (Spatial Analyst)* –työkalussa.

## 6 Indeksirastereiden tuottaminen

A-työkalulla tuotetuista järvilleikatuista vääräväri-ortokuvista tuotetaan varsinaisella B-työkalulla NDVI-rasteri elomuotovyöhykkeiden luokitteluun ja RI-rasteri varjomaskin tuottamiseen. Joissain tilanteissa RI-rasterin arvot eivät sisällä eroavaisuutta varjossa tai valossa olevilla pikseleillä. Tällaisissa tapauksissa varjomaskien tuottamista voi kokeilla painottamattoman harmaasävyrasterin tai pääkomponenttianalyysin avulla työkaluilla, jotka löytyvät Vaihtoehtoiset-työkalukansiossa.

B-työkalut eivät ole toimineet paikallisesti asennetulla ArcGIS Desktopilla (versio 10.5.0.6491). Näissä tilanteissa indeksirasterit lasketaan Raster Calculatorilla käyttäjän itse kirjoittamalla lausekkeella.

- Käyttäjä tuo ensin sisällysluetteloon A-työkalulla leikattu rasterin kanavat omina tasoina.
- Käyttäjä käynnistää *Raster Calculator (Spatial Analyst)* –työkalun.

- NDVI-rasterin laskemiseksi käytetään seuraavaa lauseketta

```
Int ((Float ("X-Band_1") - "X-Band_2") /
("X-Band_1" + "X-Band_2") * 100 + 100)
```

- RI-rasterin laskemiseksi käytetään seuraavaa lauseketta:

```
Int ((Float ("X-Band_2") - "X-Band_3") /
("X-Band_2" + "X-Band_3") * 100 + 100)
```

- Painottamattoman harmaasävyrasteri laskemiseksi käytetään seuraavaa lauseketta

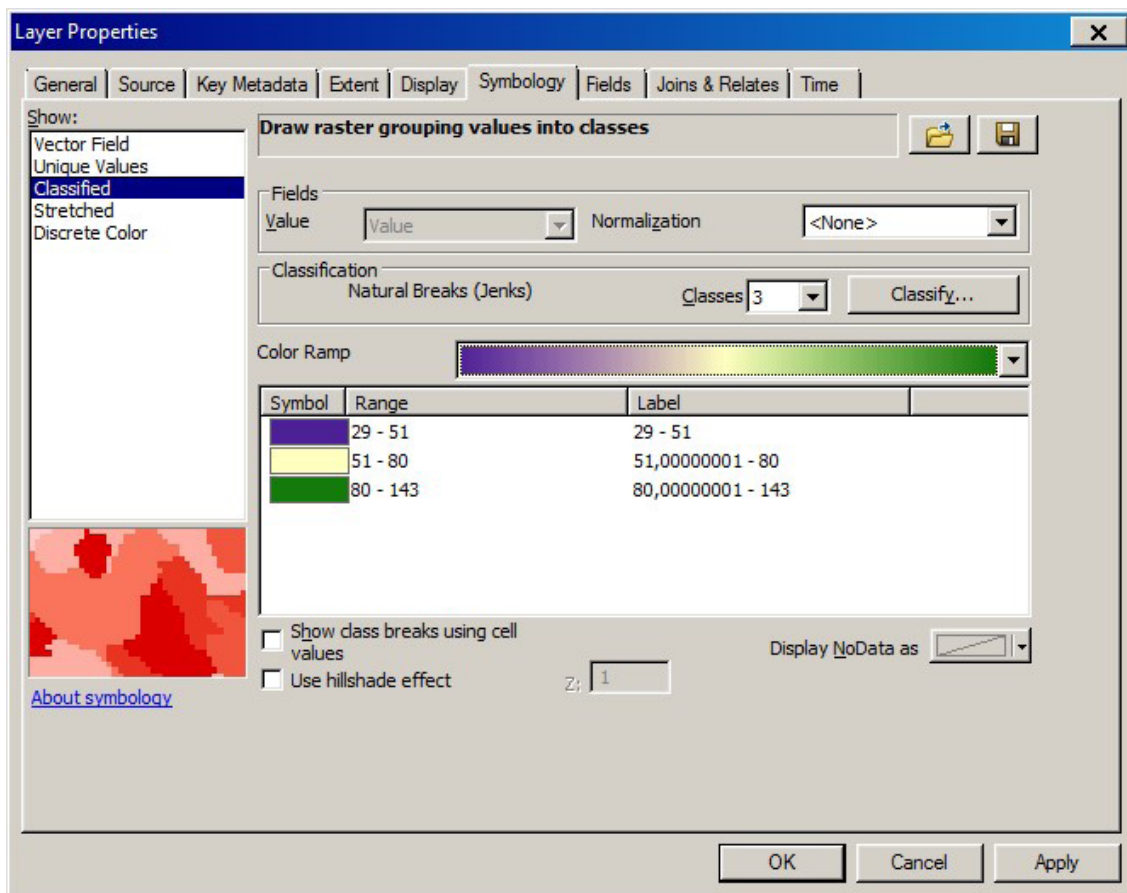
```
Int (("X-Band_1" + "X-Band_2" + "X-Band_3") / 3)
```

- Huom.: lausekkeissa X tulee korvata A-työkalussa antamallasi yhdistetyn rasterin nimellä.

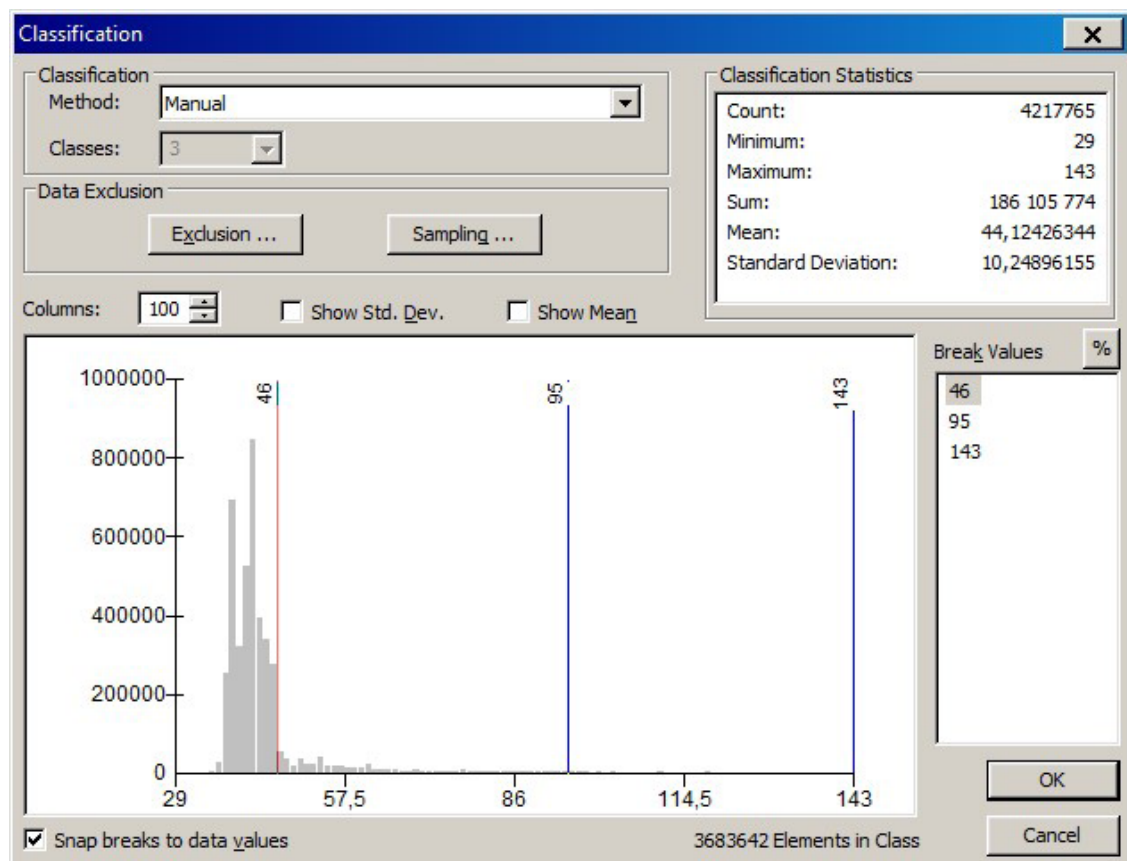
## 7 Kynnysarvojen määrittäminen

Vaiheet kynnysarvojen määrittämiseen B-työkalulla tuotetuille indeksirastereille:

1. Aseta sisällysluetteloon vääräväri-ortokuva ja sen päälle indeksirasteri.
2. Avaa indeksirasterin taso-ominaisuudet klikkaamalla tason nimeä hiiren kaksoisnappaimella ja valitsemalla avautuvasta valikosta *Properties...*
3. Valitse *Display*-välilehti ja aseta *Transparency*-kentällä tasoon läpinäkyvyyttä, esim. 50 %.
4. Valitse *Symbology*-välilehti (kuva b6).
  - a. Aseta *Show*-listasta symbologiatyyliksi *Classified*.
  - b. Aseta *Classes*-kenttään luokkamääräksi 3 NDVI-rasterille tai 2 varjomaskin tekoon käytetylle rasterille.
  - c. Aseta luokille sopiva väritys *Color Ramp* –valikosta. Esimerkiksi NDVI-rasteria kynnystäessä violetista keltaisen kautta vihreään.
5. Valitse *Symbology*-välilehdessä *Classify* (kuva b7)....
  - a. Valitse *Method*-kenttään *Manual*.
  - b. Paina ikkunan alareunasta päälle *Snap raster to data values*.
  - c. Kun NDVI-rasterille määritetään elomuotovyöhykkeitä erottelevia kynnysarvoja, aseta



Kuva b6. Asetukset Layer Properties -ikkunan Symbology-välilehdellä.



Kuva b7. Classification-valikko.

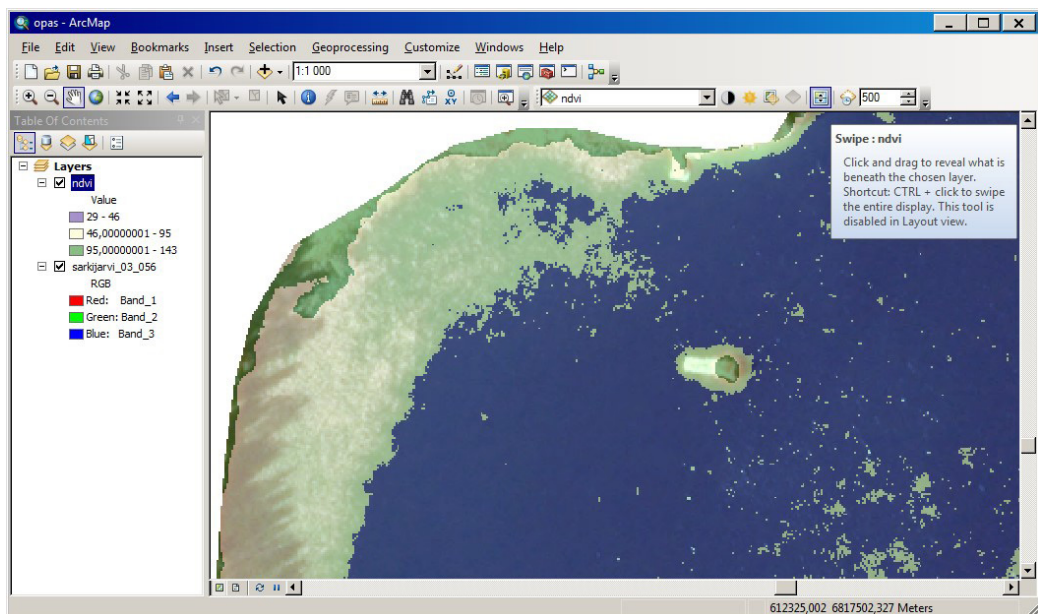
alempi luokkaraja eli alakynnys histogrammissa nähtävän kellokäyrän oikeaan reunaan. Kuvan b7 tapauksessa tällainen arvo on 46, mutta jossain tapauksissa se voi olla alle 30, joissain tapauksissa yli 70. Ylemmälle luokkarajalle eli yläkynnykselle nyrkisääntönä kannattaa käyttää arvoa 95.

- d. RI, harmaasävy ja pääkomponenttirasterin kohdalla kynnysarvo kannattaa sijoittaa histogrammin kellokäyrän vasempaan reunaan. RI-rastereissa kynnys asettuu tyypillisesti välille [88, 91].
- e. Valitse Classification ja Layer Properties -ikkunoissa OK.

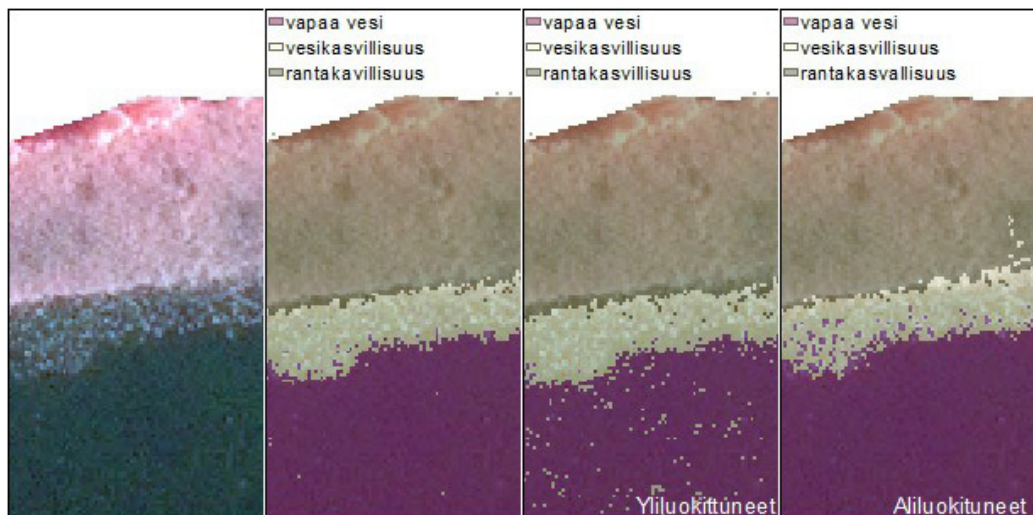
- 6. Tarkastele karttanäkymässä rasterin luokittumista kaikilta puolilta järveä. Sopiva mittakaava tarkas-

teluun on 1:1000, mutta hiiren rullalla vierittäen tilannetta kannattaa katsoa paikoin lähempää tai kauempaa. Tarkastelussa voi hyödyttää *Effects*-työkalupalkin *Swipe-toimintoa* (kuva b8).

- a. NDVI-rastereissa on tyypillisesti selkävessillä kohinaa, joissa yksittäiset selkävessien pikselit luokituisivat vesikasvillisuudeksi (kuva b8). Yksittäisten pikseleiden väärinluokittumisesta ei kannata välittää tässä vaiheessa, sillä D-työkalun toiminnallisuuteen kuuluu rasterin tasoittaminen ArcGIS:n valmiilla *Majority Filter*-työkalulla. Siinä yksittäisen pikselin arvo muuttuu naapuristonsa mukaiseksi, jos kahdeksasta ympäröivästä naapuripikselistä viidellä vierekkäisellä on sama arvo. Olennaista luokkarajojen määrittelyssä on päästä tilanteeseen, jossa ohiluokituneet pikselit eivät muodostaisi



Kuva b8. Kynnysarvojen tarkastelu NDVI-rasterille.



Kuva b9. Kuvasarja, joka esittelee tilanteita oikein luokittumisesta sekä yli- ja aliluokittumisesta.

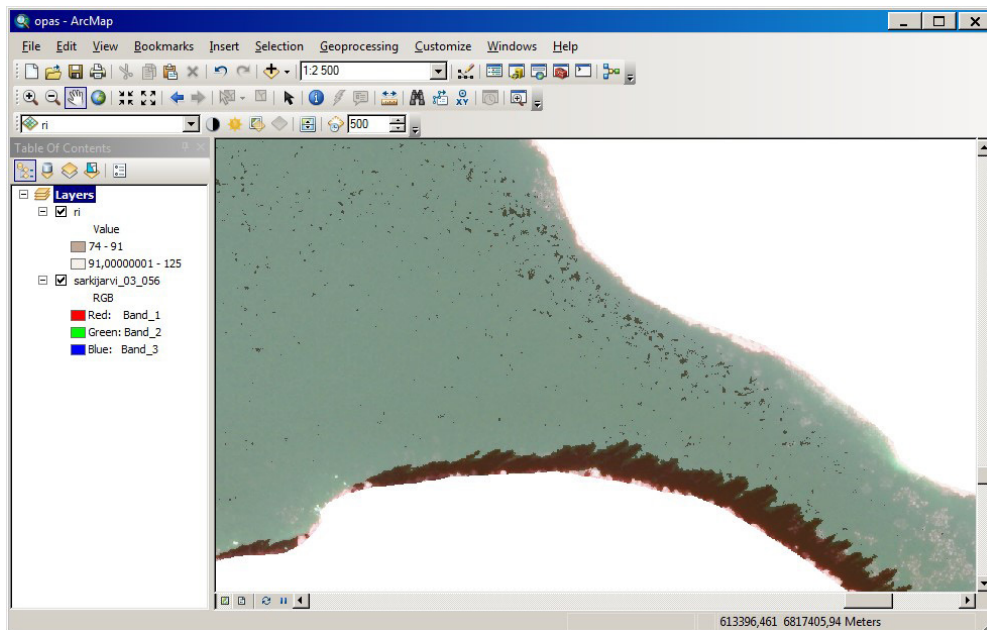


suuria määriä yhtä pikseliä paksumpia ryppäitä (kuva b9).

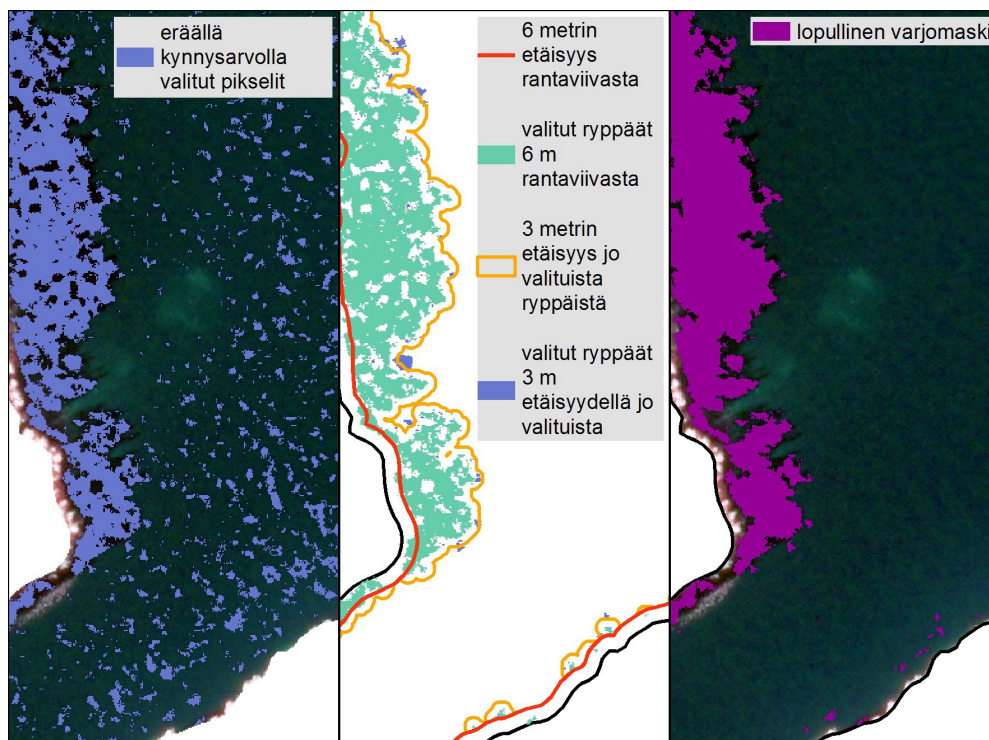
- b. Varjomaskien lähtöindeksejä tässä vaiheessa tarkastellessa huomaa usein varjoksi luokitettavia pikseliryppäitä selkävessillä (kuva b10). Nämä ryppäät eivät tule mukaan varjomaskiin E-työkalun "6+3"-säännön mukaisesti. Ainoastaan ryppäät, jotka ovat joko 6 metrin etäisyydellä rantaviivasta tai sitten 3 metrin päässä edellä

mainituista, tulevat mukaan varjomaskiin (kuva b11). Huomaa, että E-työkalulla tehty varjomaski on vektorimuotoinen, joten ArcMapin editointityökaluilla voidaan vielä muuttaa maskin geometriaa.

7. Mikäli asetetut luokkarajat eivät vaikuta luokittelevan aineistoa oikein, palataan edellä mainittuja kohtia pitkin *Classification*-ikkunaan muuttamaan niitä.



Kuva b10. Kynnysarvon tarkastelu RI-rasterille.



Kuva b11. E-työkalun toiminta "6+3"-säännöllä.

8. Kun luokkarajat vaikuttavat asettuneen sopiviin arvoihin, voidaan rasterit kynnystää elomuotovyöhykkeiden ja varjomaskien karttatasoiksi D- ja E-työkaluilla.
- Muistutus näitä työkaluja käytettäessä: työkalujen käyttö saattaa epäonnistua, jos työkalulla prosessoitava indeksirasteri on ArcMap-sisällysluettelolla.
  - D-työkalua käyttäessä huomaa, että itse yläkynnyksen arvon saavat pikselit luokituvat tulosrasterissa rantakasvillisuudeksi ja alakynnyksen arvot saavat vesikasvillisuudeksi.
  - E-työkalussa käyttäjä määrittää SQL-lausekkeella, että mihin luokaan itse kynnysarvo luokituu. Esimerkiksi lausekkeella *Value <= 91* lähtörasterin arvo 91 ja sitä pienemmät arvot muodostavat ryppäät varjomaskin prosessointiin.

## 8 Indeksirastereiden paikallinen kynnystäminen

Lukuisissa tapauksissa kynnystettävälle rasterille ei voida määrittää koko järven kattavia, toimivia kynnysarvoja. Ortokuville tehdyistä radiometrisistä korjauksista huolimatta kuviin saattaa silti jäädä sävyeroja, jotka vaikuttavat indeksirastereidenkin arvoihin. Näissä tilanteissa voidaan kuitenkin yrittää paikallista kynnystystä, jossa indeksirasteri leikataan osiin, osat

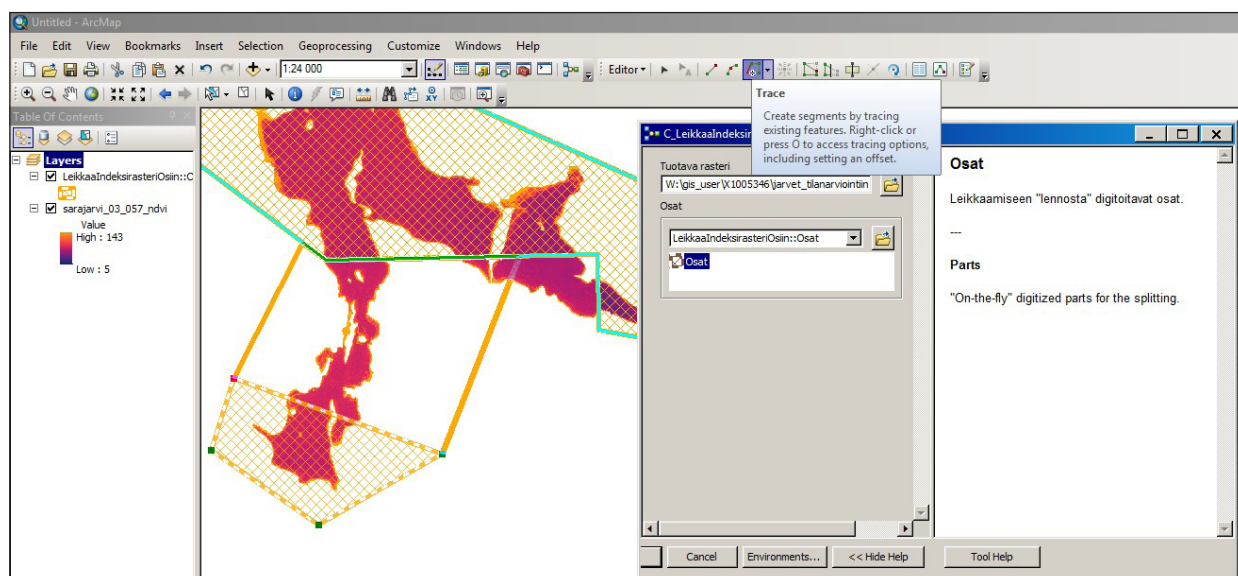
luokitellaan eri kynnysarvoilla ja lopuksi yhdistetään luokitellut lopputulokset.

Rasterin leikkaaminen osiin tehdään C-työkalulla. Työkaluun tuodaan leikattava rasteri ja digitoidaan "lennosta" väliaikaisia polygoneja, joilla irroitetaan osia rasterista. Osia digitoidessa kannatta hyödyttää editoinnin työkalupalkista jäljitys-työkalua, jolla osat saadaan piirrettyä täsmällisesti toisiaan sivuten (kuva b12). Jäljitys-työkalulla digitointi voidaan suorittaa myös muiden vektoritasojen kuvioita pitkin, jos käyttäjä kokee tämän hyödylliseksi.

Leikatut rasterit kynnystetään elomuotovyöhykkeiden karttatasoksi tai varjomaskiksi kukin kerrallaan omilla kynnysarvoilla. NDVI-rastereista tehdyt elomuotovyöhykkeiden tasot yhdistetään F-työkalulla. Jos järvelle prosessoitu varjomaski halutaan julkaista tämän hankkeen aineistoille julkaistussa ArcGIS Online –karttapalvelussa, järvelle luodut vektorimuotoiset maskit konvertoidaan yhtenäiseksi rasteriksi J-työkalulla.

## 9 Luokittumisen onnistumisen validointi

Elomuotovyöhykkeisiin luokitellun aineiston perusteella G-työkalulla luodaan validointipisteitä (50 kappaletta kullekin luokalle). Validointipisteiden *Classified*-kenttään kirjautuu tieto luokitellusta vyöhykkeestä (1 = rantakasvillisuus, 2 = vesikasvillisuus, 3 = vapaa vesi). *GrndTruth*-kenttään työkalu taas antaa pisteille nimellisen arvon -1.



Kuva b12. NDVI-rasterin leikkaaminen osiin C-työkalulla. Huomaa Jäljitys- eli- Trace-työkalun hyödyntäminen, jolla toinen kuvio voidaan digitoida sivuamaan ensimmäisen ulkoreunoja tarkasti.



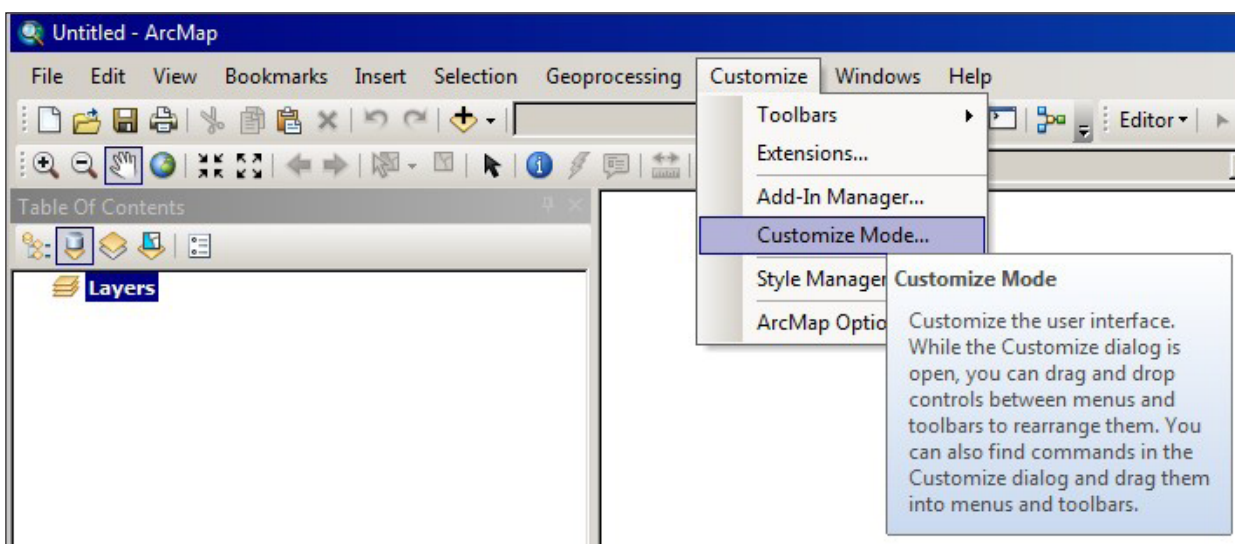
Seuraavaksi pisteille kirjoitetaan ilmakuvan visuaalisen tarkastelun perusteella referenssitieto eli niin sanottu kenttätotuus. Mikäli käyttäjällä on mahdollisuus työskennellä ArcGIS:llä ympäristöhallinnon Citrix-sovelluksena, käyttäjällä on mahdollisuus hyödyntää tähän tehtävään SYKEN kehittämää pisteiden tarkastamisen työkalua. Tarkistustyökalu otetaan käyttöön *Customize Mode*-ikkunassa (kuva b13) jossa *Commands*-välilehdeltä haetaan *Tarkista pisteet* -toiminto (kuva b14). Työkalu raahataan vapaavalintaisesti jonkun työkalupalkkiin: esimerkkitapauksessa se raahataan GEO-käyttöliittymän toimintojen jatkeeksi.

Työkalun käyttäminen aloitetaan valitsemalla validointipisteet-taso sisällysluettelossa ja käynnistämällä työkalu juuri raahatusta painikkeestaan. Luokittelun

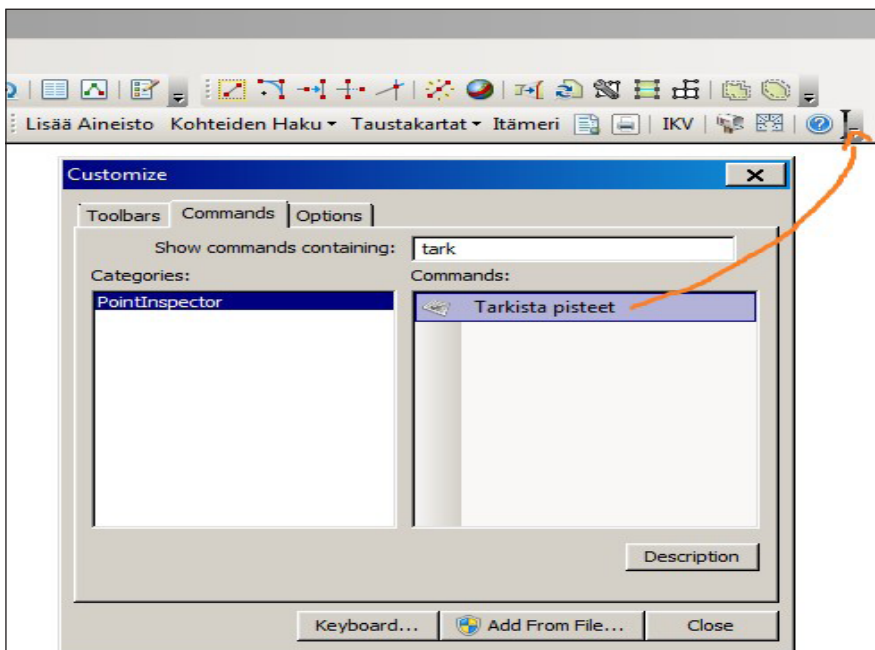
tarkastamainen ikkuna avautuu ja karttanäkymä siirtyy ensimmäisen pisteen kohdalle karttatason vakio mittakaavaan (kuva b15). Tässä vaiheessa on suositeltavaa muuttaa mittakaava 1:1 000 ja ruksata ”*Käytä näytön mittakaavaa*”. Tietojen kirjaamista varten valitse ”*Aloita muokkaus*”.

Ikkunassa olevat kentät tarkoittavat seuraava:

- *OBJECTID*: osoittaa pisteen ID-numeron. Voi siirtyä suoraan tietyn pisteen tietojen kirjaamiseen kirjoittamalla pisteen ID-numeron kenttään ja painamalla Enter.
- *Classified-arvo*: mihin elomuotovyöhykkeeseen piste on luokitunut
- *GroundTruth, nykyinen arvo*: mikä referenssiarvo



Kuva b13. Kulku Customize Mode -ikkunaan.



Kuva b14. Tarkista pisteet -työkalun hakeminen ja raahaaminen vapaavalintaiseen työkalupalkkiin.

pisteelle on nyt tallentunut. G-työkalulla pisteet ovat saaneet nimellisen -1 arvon.

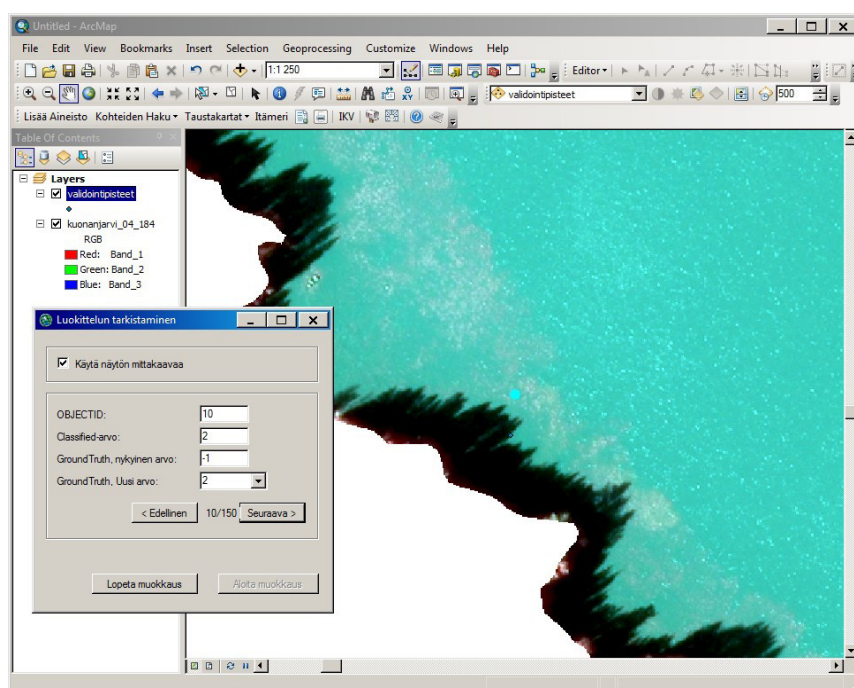
- *GroundTruth, Uusi arvo*: mikä arvo pisteelle ollaan päällekirjoittamassa nykyisen tilalle. Työkalu ehdottaa lähtökohtaisesti samaa luokitunutta arvoa kuin *Classified*-kentässä.
  - Mikäli pisteen arvo on luokitunut oikein, painetaan suoraan *Seuraava*-painiketta.
  - Mikäli pisteen arvo on luokitunut väärin, valitaan *GroundTruth, Uusi arvo* –alasvetovalikosta oikea luokka ja painetaan *Seuraava*.

Luokittelun tarkistaminen päätetään valitsemalla *Lopeta muokkaus*. Näytölle ilmestyy ikkuna, jossa pyy-

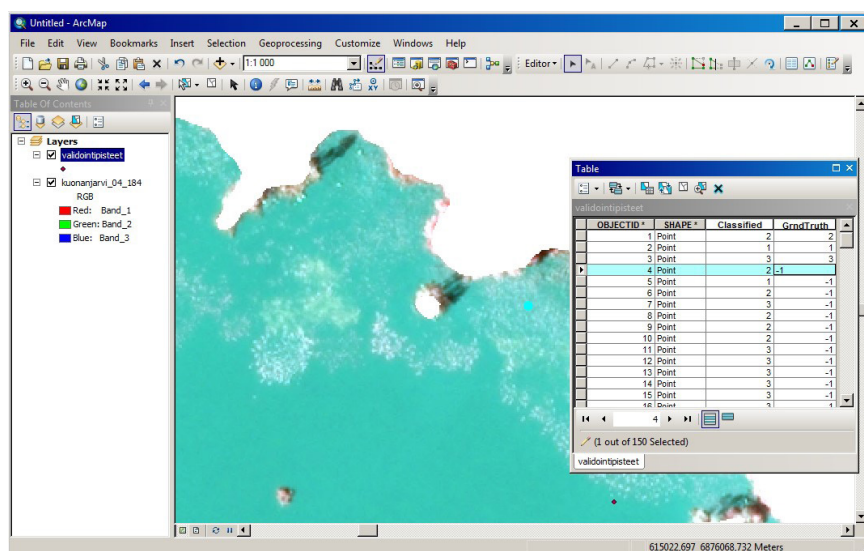
detään vahvistamaan, että haluatko tallentaa muutokset.

Mikäli käyttäjällä ei ole mahdollisuutta edellä mainittuun Citrix ArcGIS-työskentelyyn, referenssitietojen kirjaaminen suoritetaan työläämmin avaamalla validointipisteiden attribuuttitaulu, laittamalla taso editointitilaan ja näppäilemällä referenssitieto manuaalisesti *GrndTruth*-kenttään (kuva b16).

Referenssitietoja kirjatessa joko avustavalla työkalulla tai manuaalisesti nyrkkisääntönä sopivaksi tarkastelumittakaavaksi on 1:1000. Tarpeen tulleen hiiren rullaa vierittäen karttanäkymässä kannattaa siirtä joko lähemmäksi tai kauemmaksi. Esimerkiksi sen huomaaminen, että asettuuko piste uposlehtikasvus-



Kuva b15. Referenssitietojen kirjaamiseen tehdyn Luokittelun tarkistaminen-toiminto.

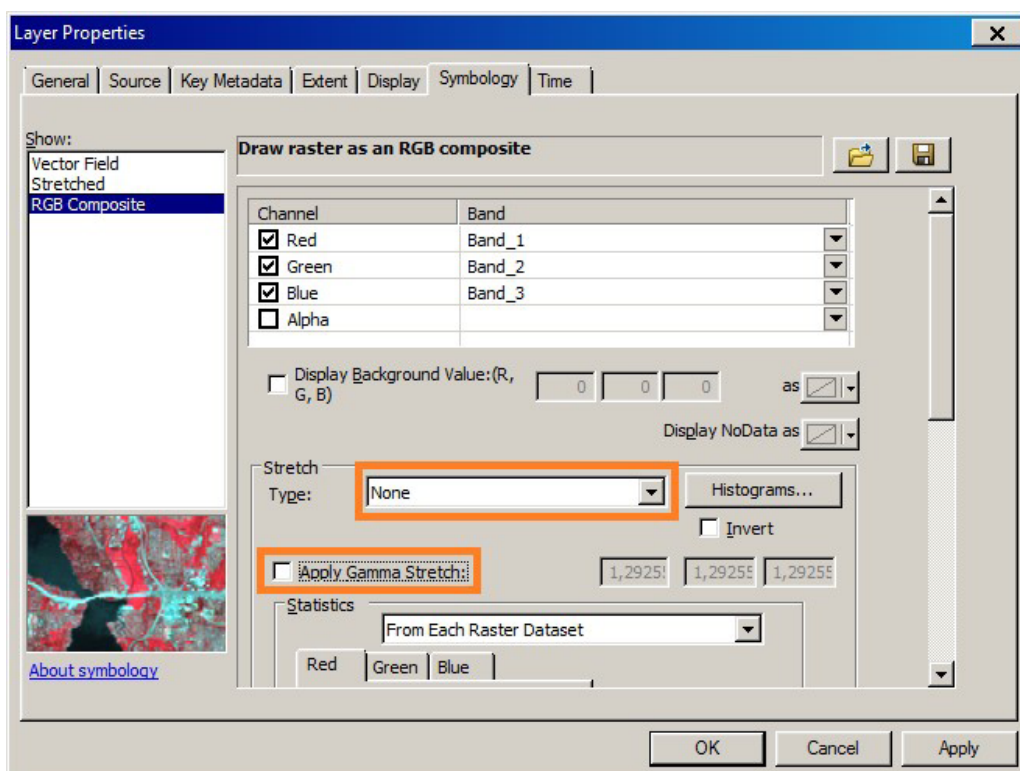


Kuva b16. Referenssitietojen manuaalinen kirjaaminen validointipisteille.

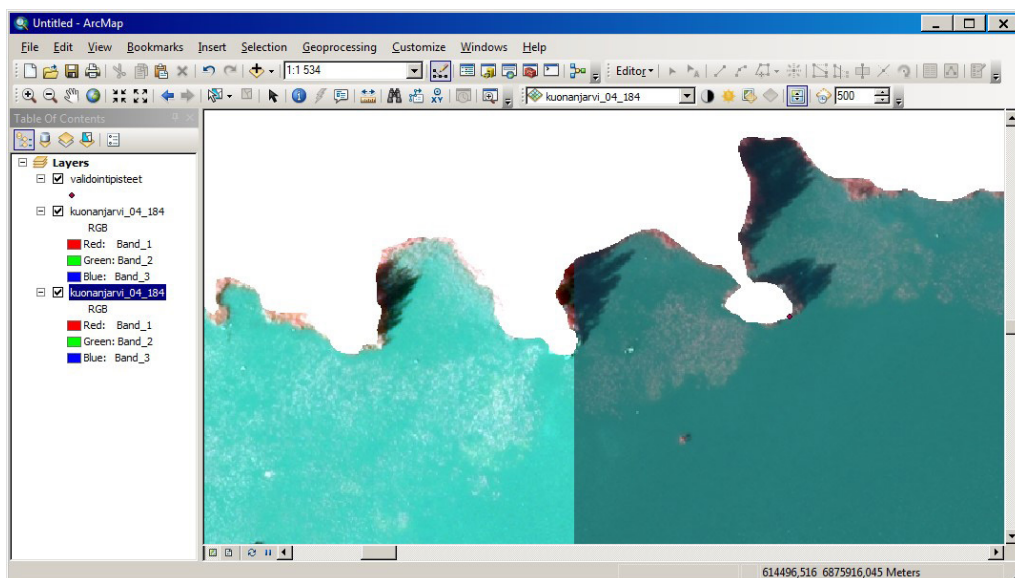
tojen päälle vai väliin, vaatii tarkastelua tarkemmassa mittakaavassa.

Vakioasetuksista riippuen ArcMap muuttaa karttanäkymään tuotujen rastereiden kontrastia *Stretch*-ominaisuudella. Referenssitietojen visuaalista tarkastelua varten ominaisuus saattaa olla häiritsevä, joten käyttäjän kannattaa poistaa se käytöstä *Layer Properties* -ikkunassa *Symbology*-välilehdellä valitsemalla *Stretch/Type*-kenttään *None* ja poistamalla valinta kohdasta *Apply Gamma Stretch* (kuva b17 ja b18).

Kun referenssitiedot ovat kirjattuna validointipisteille, H-työkalulla lasketaan luokittumisen onnistumista kuvaava virhematriisi. Työkalu perustuu ArcGIS:n vakiona sisältämään *Compute Confusion Matrix*-työkaluun, jonka ohje taas ohjeistaa virhematriisin tulkinassa. Tyypillisin H-työkalu antama virheilmoitus on se, että kaikille pisteille ei ole kirjattu sopivaa tietoa. Joillekin pisteille on voinut GroundTruth-kenttään jäädä nimellinen -1-arvo tai muuten näppäilyvirheen takia kentässä on joku muu arvo kuin 1–3.



Kuva b17. Stretch-ominaisuuden poistaminen ArcMapiin tuoduilta rastereilta



Kuva b18. Rasteri karttanäkymän vasemmalla puolella Stretch-ominaisuuksilla kohentaen, oikealla taas ilman.



Table								
pitkajarvi_01_075_virhematriisi_150								
OBJECTID *	ClassValue	C 1	C 2	C 3	Total	U Accuracy	Kappa	
1	C_1	44	6	0	50	0,88	0	
2	C_2	3	31	16	50	0,62	0	
3	C_3	0	4	46	50	0,92	0	
4	Total	47	41	62	150	0	0	
5	P_Accuracy	0,93617	0,756098	0,741935	0	0,806667	0	
6	Kappa	0	0	0	0	0	0,71	

Kuva b19. Esimerkki H-työkalulla tehdystä virhematriisista. Elomuotovyöhykkeet ovat nimetty seuraavasti: C\_1 = rantakasvillisuus, C\_2 = vesikasvillisuus, C\_3 = vapaa vesi.

Lyhyesti selitettynä virhematriisi esittää validointipisteisen tulkinnassa luokiteltua tietoa suhteessa referenssitietoihin: matriisin rivit kuvaavat luokiteltua tietoa, kun taas rivit kuvaavat referenssitietoa. Mikäli pisteen tulkintaluokiteltu ja referenssitiedot vastaavat toisiaan, piste asettuu matriisin diagonaalille. Diagonaalin oikealla puolella olevat luvut antavat tietoa pisteiden yluokittumisesta, kun taas vasen puoli kertoo aliluokittumisesta. Kuvan b19 C\_1-rivin ja C\_2-sarakkeen solussa oleva lukuarvo 6 kertoo siitä, että 66 pistettä luokituu rantakasvillisuudeksi vaikka niiden tulisi olla rantakasvillisuutta (aliluokittuminen). Oleellinen tieto matriisista on *U\_Accuracy*- ja *P\_Accuracy*-kenttien risteyksessä oleva luku, joka kuvaa järven luokittumisen kokonaisuonnistumista. Vaihteluväliltään tämä luku voi olla nollan ja yhden väliltä, jossa yksi merkitsee tulkinnan 100 prosentista oikeinluokittumista.

## 10 Tunnuslukujen kirjoittaminen tekstitiedostoon

Kun elomuotovyöhykkeiden rasteri, vektorimuotoiset varjomaskit ja virhematriisi ovat tehtynä, kirjataan tiedot paikkatietotasoilta tekstitiedostoon I-työkalulla. Sillä luodaan puolipilkuilla kentät erottava tekstitiedosto, jonka ensimmäiselle riville tulee kenttien nimet ja toiselle riville kenttien arvot (kuva b20). Jälkimmäiset tiedot koostetaan taulukkotiedostoon tilanarviointia koskevaa analyysia varten.

## 11 Varjomaskit karttapalvelussa julkaistavaksi varjomaskiksi

Kuten jo aikaisemmin mainittiin, niin mikäli järvelle luodut varjomaskit halutaan julkaista karttapalvelussa, konvertoidaan ne yhtenäiseksi rasteriksi J-työkalulla. Kyseistä työkalua käytetään myös siinä tapauksessa,

tulokset.txt – Muistio	
Tiedosto	Muokkaa Muotoile Näytä Ohje
rantakasvillisuus;vesikasvillisuus;ranta_ja_vesikasvillisuus;vapaa_vesi;ranta	
12,616725;19,89625;32,512975;118,728925;12,51;17,752175;30,262175;12,331675;1	
Rivi 1, Sarake 1	

Kuva b20. I-työkalulla luotu tekstitiedosto tunnusluvuista.

vaikka maski olisi tehty koko järven laajuudelle yhdellä kynnsarvolla. Kuten A-työkalussa, vastaavasti J-työkalussa tallentuu välivaiheen aineistoa Scratch GDB –hakemistoon. Kyseiset tasot eivät deletoidu automaattisesti, joten käyttäjän tulee poistaa ne manuaalisesti muistin vapauttamiseksi.

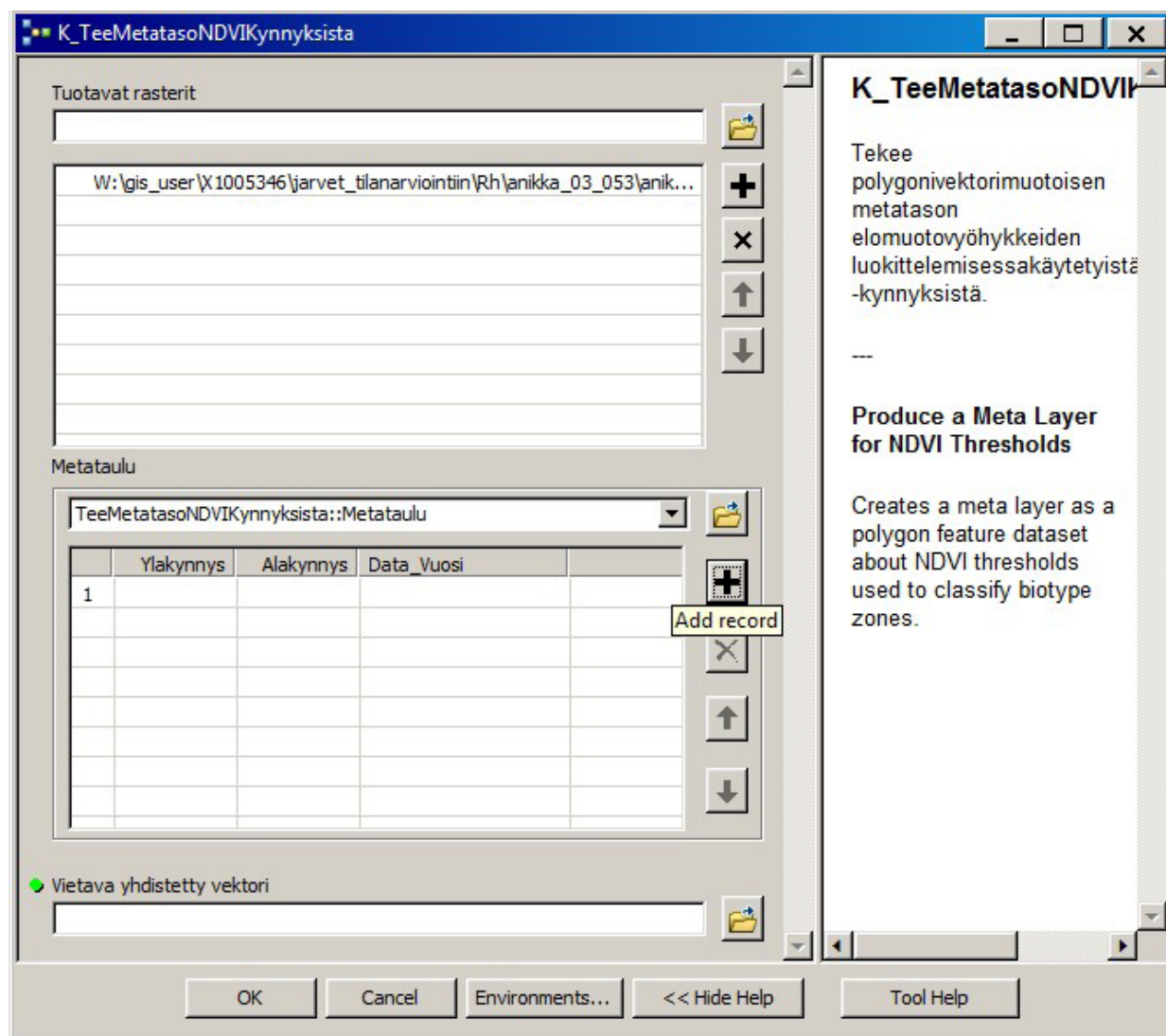
## 12 Käytettyjen kynnsarvojen metatasot

Tulkinnassa käytettyjen kynnsarvojen dokumentointi tehdään K- ja L-työkaluilla. Niillä tuotettaviin metatasoihin voidaan kirjata tietoja joko yhdeltä järveltä tai sitten monelta järveltä samalla kerralla.

Metatasojen työkalujen käyttöliittymää käytetään siten, että kun käyttäjä on tuonut listaan uuden rasterin, hän painaa metataulun vieressä olevaa plus-painiketta, joka lisää tauluun uuden rivin. K-työkalun

kohdalla (kuva b21) tauluun lisätään D-työkalussa käytetyt kynnsarvot (kentät *Ylakynnys* ja *Alakynnys*) sekä tieto ortokuvan aineistolähteestä ja vuodesta (kenttä *Data\_Vuosi*). Viimeisenä mainittu tieto on katsottavissa kuvan b4 esitetystä kontekstivalikosta kenttien *kuv\_vuosi* ja *aineisto* kohdalta. Esimerkkita-paus Iso-Pajusen kohdalla merkittäisiin *Data\_Vuosi*-kenttään kirjattaisiin *mara 2017* (sivuhuomautuksena: "mara" tulee lyhenteestä "maasto- ja rajatieto" ja viittaa MML:n tilaamiin ja osin tuottamiin ilmakuvauksiin). Vaihtoehtoisesti *Data\_Vuosi* –kentän tiedon voi katsoa MML-tiedostopalvelun kautta tulevasta latauslinkistä.

L-työkalun kohdalla taas metatauluun merkitään taas maskin muodostamiseen käytetty indeksi (vakiona RI, mutta voi olla esimerkiksi harmaasävy tai PCA), E-työkalussa käytetty SQL-lauseke (esim. *Value <= 91*), tieto ortokuvan aineistolähteestä ja vuodesta (samoin kuin K-työkalu) sekä merkintä siitä,



Kuva b21. K-työkalun graafinen käyttöliittymä.



että onko maskin geometriaa muutettu manuaalisesti editointityökaluilla (merkitään 1, jos on).

Kuten A- ja J-työkaluilla, myös K- ja L-työkaluilla tallentuu välivaiheen aineistoja Scratch GDB –hake-  
mistoon, joka täytyy manuaalisesti tyhjentää muistin vapauttamiseksi.

## 13 Tuotettujen karttatasojen luovuttaminen

Työkaluilla tuotettu aineistoa julkaistaan ArcGIS Online –pohjaisessa karttapalvelussa. Tulkintasovellusta käyttävän tuottajaosapuolen tulee luovuttaa tilaajalle seuraavat karttatasot:

- A-työkalulla muodostettu leikattu väärävärikuva.
- B-työkalulla muodostettu NDVI-rasteri.
- F-työkalulla luotu yhdistetty elomuotovyöhykkeiden karttataso.
  - Jos NDVI-rasterin kynnystämistä varten ei ollut tarvetta leikata rasteria osiin ja kynnystää paikallisesti, luovutetaan D-työkalulla luotu elomuotovyöhykkeiden rasteri.
- J-työkalulla luotu varjomaskirasteri.

Tuottajan tulee luovuttaa kyseiset aineistot *geodata-base*-kannassa *raster dataset*-muodossa. Edellä mainittujen karttatasojen lisäksi tuottajan tulee luovuttaa K- ja L-työkaluilla luodut vektoritasot vapaamuotoisessa tiedostomuodossa.

## 14 Tuotettujen tunnuslukujen koostaminen ja luovuttaminen

Tuottajaosapuolen tulee koostaa prosessoimistaan järvestä tiedot taulukkoon, jonka perusteella em. karttapalveluun tuotetaan infotaso pistevektorimuodossa. Tilaajaosapuoli luovuttaa taulukkomallin tätä varten.

Taulukon alkuun merkitään järven perustietoja järven nimestä, tunnuksista, tyypistä ja koordinaateista TM35FIN-järjestelmässä. Kyseiset tiedot ovat haettavissa SYKEN Järvirekisteristä, johon pääsee Hertta-palvelun kautta. Tämän jälkeen taulukkoon merkitään tietoja järven kattaneista ilmakuvauksista. Kyseiset tiedot tarkastetaan joko MML:n Maastotiedon ylläpito –sivun karttaesityksestä tai sivulta ladattavista ilmakuva- ja ortokuvatasoista. Ortokuvatasolta tarkastettavat tiedot ovat pääteltävissä myös MML-tiedostopalvelun latauslinkistä. Seuraava taulukko esittää, että kuinka tiedot tarkistetaan kuvissa b3 ja b4 esitetystä tilanteesta. Taulukon loppupuolella oleviin kenttiin kopioidaan tiedot tekstitiedostoista, jotka tuotetaan I-työkalulla.

Taulukko b1. Metatietojen tarkistaminen MML:n Maastotiedon ylläpito -sivun karttaesityksestä.

Kenttä ponnahdusikkunassa	Taso karttaesityksessä	Kenttä kontekstivalikossa	Esimerkki tietojen kirjaamisesta Iso-Pajusella
Vuosi	ortot	kuv_vuosi	2017
Peruskarttalehdet	ortot	tunnus	P4433F;P4433H
Kuvaustunnukset	ilmakuvat	tunnus	20171011B;20171011C
Kuvaajat	ilmakuvat	kuvaaja	MML
Aineistot	ortot	aineistot	mara_vv_25000_50
Kuvauspäivämäärät	ilmakuvat	alku_aika, loppu_aika	2.7.2017–8.7.2017



Kuvasarja tulkinnan estäneistä tekijöistä ortokuvissa.



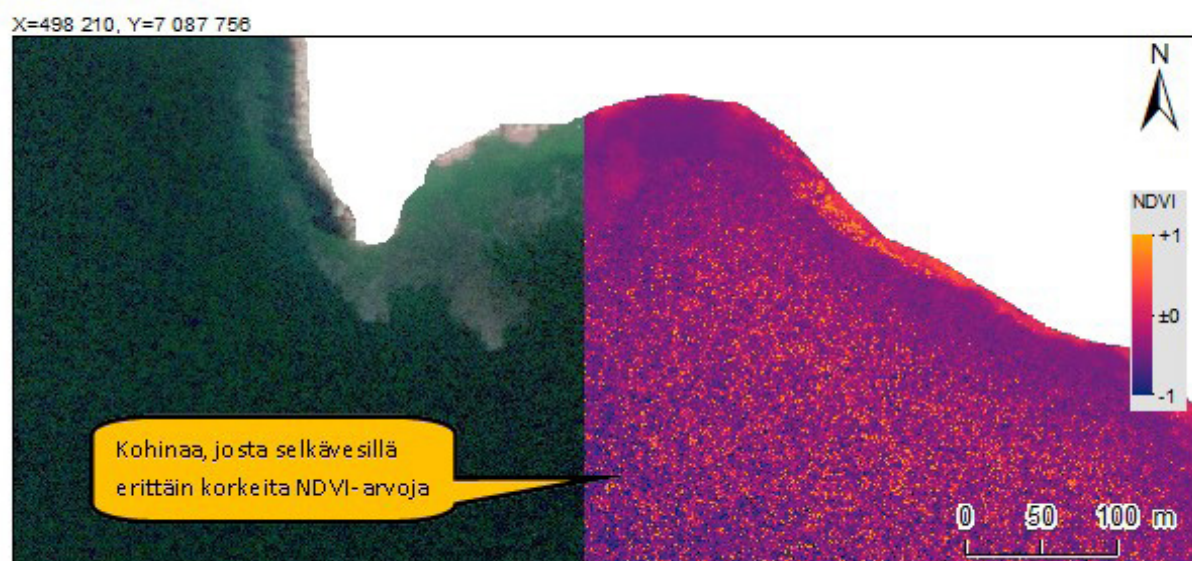
Liesijärvi (35.583.1.001), aineisto: SMK, kuvaaja: Blom Kartta, kuvaus: 20.7.2016

©POS ELY, MML 2018



Loituma (03.023.1.006), aineisto: SMK, kuvaaja: Blom Kartta, kuvaus: 17.-21.8.2015

©POS ELY, MML 2018

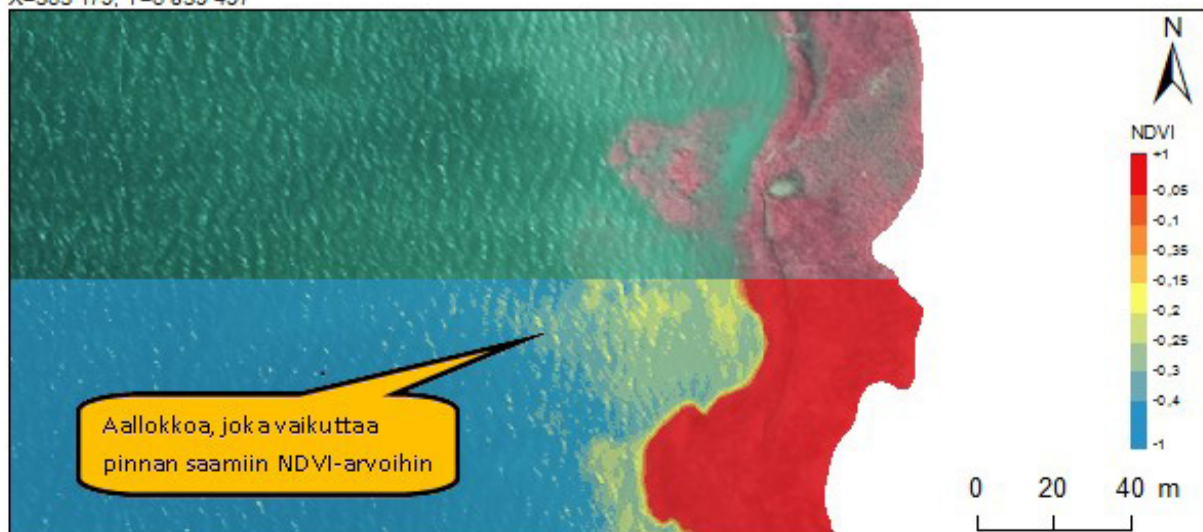


Marttisenjärvi (04.549.1.001), aineisto: Mavi, kuvaaja: SKM Gis air, kuvaus: 7.7.2014

©POS ELY, MML 2018



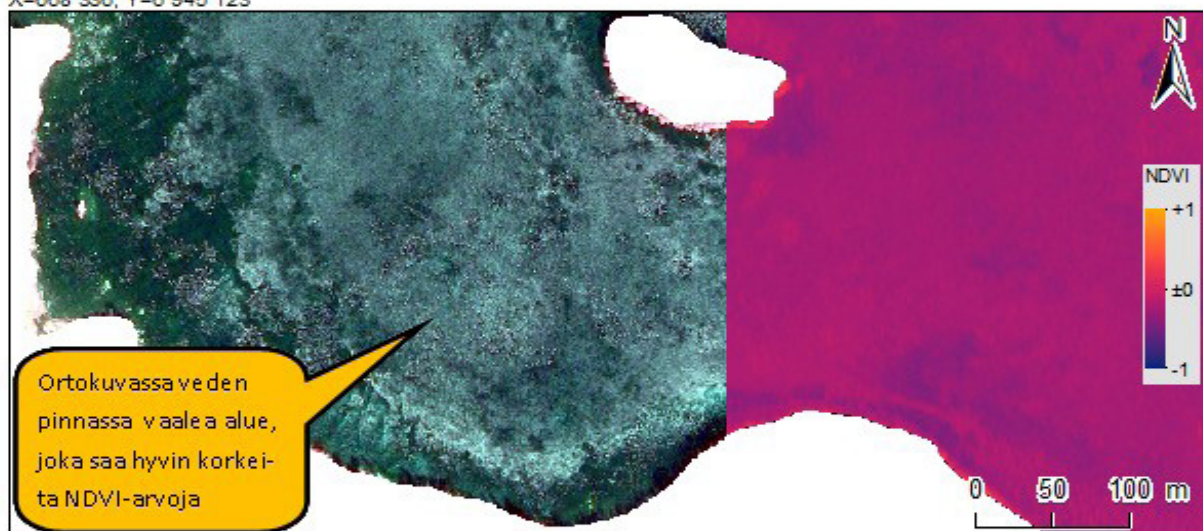
X=363 179, Y=6 839 497



Oriselkä (35.741.1.001), aineisto: SMK, kuvaaja: Blom Kartta, kuvaus: 3.7.2015

©POS ELY, MML 2018

X=668 336, Y=6 945 123



Pirttilampi (01.044.1.014), aineisto: MML, kuvaaja: MML, kuvaus: 20.7.2014

©POS ELY, MML 2018

X=512 510, Y=6 700 340



Tervajärvi (14.187.1.002), aineisto: MML, kuvaaja: MML, kuvaus: 4.7.2015

©POS ELY, MML 2018

# KUVAILEHTI

Julkaisusarjan nimi ja numero Raportteja 65/2018				
Vastuualue Ympäristö ja luonnonvarat				
Tekijät Juho-Ville Marttila, Antti Kanninen, Jukka Aroviita, Markus Törmä, Sampsa Koponen, Iida Autio, Veli-Matti Vallinkoski, Minna Kuoppala, Maj Rasilainen		Julkaisu-aika Helmikuu 2019		
		Kustantaja /Julkaisija Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus		
		Hankkeen rahoittaja /toimeksiantaja Ympäristöministeriö		
Julkaisun nimi <b>Kansallisen kuvausohjelman ilmakuvat vesikasvillisuuden runsastumisen ja tilan arvioinnissa</b>				
<p>Tiivistelmä</p> <p>Kaukokartoitustekniikalla pystytään seuraamaan ympäristön tilaa kustannustehokkaasti ja alueellisesti kattavasti. Vuonna 2016 käynnistynyt kansallinen ilmakuvausohjelma tarjoaa käyttöön avoimia ilmakuvia, jotka ovat ajantasaisesti kuvattu koko Suomen laajuudelta. Lähdeaineistoa sovellettiin järvien ranta- ja vesikasvillisuuden kartoittamiseen.</p> <p>Raportti esittelee järvikasvillisuuden kaukokartoitusmenetelmän, jossa käytetään aineistona kuvausohjelman tuottamia orto-oikaistuja väri-infrakuvia. Menetelmä perustuu normalisoidun kasvillisuusindeksin (NDVI) käyttöön. Ilmakuvatulkinnan toteuttamiseksi kehitettiin avoimesti ladattavat ArcGIS-työkalut ja ohjeistus niiden käyttöön.</p> <p>Tulkintamenetelmän avulla tuotetaan temaattinen kartta järven vedenpinnan yläpuolisesta kasvillisuudesta. Yhdessä järven syvyysaineiston kanssa temaattisen kartan avulla voidaan määrittää kasvittumisasteeksi kutsuttu tunnusluku, joka kuvaa kasvillisuuden runsautta ja on yhteydessä järven rehevyystasoon ja havaittuun lajistoon. Kasvittumisasteen hyödyntämistä järvien ekologisen tilan arvioinnissa testattiin hankkeessa. Tulokset olivat lupaavia, mutta tilaluokittelumenetelmän kehittämistä tulee jatkaa ja edustavaa aineistoa tulee kerätä lisää ennen menetelmän ottamista laajempaan käyttöön.</p> <p>Tulkintamenetelmästä onnistuttiin kehittämään tehokas ja validoitu, mutta kuvausohjelmassa tuotettava aineisto ei kaikilta osin ole riittävän laadukasta tai kattavaa tietyin järven tai järvityyppien systemaattiseen seurantaan. Menetelmä soveltuukin parhaiten kartoitusluonteeseen ja tilastolliseen otantaan perustuvaan järvien tila-arviointiin. Aineiston ollessa saatavilla, menetelmää voidaan kuitenkin soveltaa myös esimerkiksi järvikunnostusten pitkäaikaisten vaikutusten seurantaan. Tätä kokeiltiin tässä hankkeessa vedenpinnaltaan nostettujen järvien kasvillisuusmuutosten seurannassa.</p>				
<p>Asiasanat (YSA:n mukaan)</p> <p>kaukokartoitus, ilmakuvat, vesikasvillisuus, seuranta, ekologinen tila</p>				
ISBN (Painettu)	ISBN (PDF) 978-952-314-750-8	ISSN-L	ISSN (painettu)	ISSN (verkkopainettu)
www www.doria.fi/ely-keskus		URN URN:ISBN:978-952-314-750-8		Kieli Suomi
Sivumäärä 68				
Julkaisun tilaukset				
Kustannuspaikka ja -aika Kuopio 19.2.2019			Painotalo	



## DOCUMENTATION PAGE

Publication series and numbers Raportteja 65/2018					
Area(s) of responsibility Environment and Natural Resources					
Author(s) Juho-Ville Marttila, Antti Kanninen, Jukka Arovii- ta, Markus Törmä, Sampsa Koponen, Iida Autio, Veli-Matti Vallinkoski, Minna Kuoppala, Maj Rasilainen		Date February 2019			
		Publisher Centre for Economic Development, Transport and the Environment for North Savo			
		Financier/commissioner Ministry of the Environment			
Title of publication <b>Kansallisen kuvausohjelman ilmakuvat vesikasvillisuuden runsastumisen ja tilan arvioinnissa</b> (Lake Macrophyte Abundance Monitoring and Status Assessment Based on Data of the Finnish National Aerial Photography Programme)					
Abstract <p>Remote sensing enables cost-effective and spatially wide-ranging environmental monitoring. A new Finnish National Aerial Photography Programme was launched in 2006 and now provides open, up-to-date airborne image data throughout Finland. These data were applied to map lake macrophytes.</p> <p>This report presents a remote sensing method of lacustrine macrophytes utilizing ortho-corrected colour infrared photographs of the mapping programme. The method is based on the normalized vegetation index (NDVI); classes of vegetation and water are separated by visually considered thresholding of the index. Open ArcGIS tools were developed to execute the interpretation.</p> <p>The output of the interpretation method is a thematic map with three classes representing 1) thick emergent vegetation, 2) floating-leaved or sparse emergent vegetation and 3) water. Together with lake bathymetric data, the thematic vegetation map allows the calculation of the percentage of vegetated littoral (PVL). PVL is a measure of vegetation abundance correlated to lake trophic status level and species composition. The performance of PVL as an index of lake ecological status was assessed with promising results. Nevertheless, further development of the method and more representative data are needed before wider operational application of the PVL-method in ecological status assessment is achieved.</p> <p>Although the developed interpretation method of lake macrophytes proved to be effective and valid, the data of the airborne imaging programme data are not in all cases of sufficient quality or wide-ranging enough for systematic monitoring of certain lakes or lake types. The method is most suitable for mapping purposes and status assessment based on statistical sampling. However, when suitable image data are available, the method can be utilized for e.g. assessing the impacts of lake restoration measures. An example of vegetation changes after lake water level rise is provided in this report.</p>					
Keywords Remote sensing, aerial photographs, aquatic vegetation, monitoring, ecological assessment					
ISBN (print)	ISBN (PDF) 978-952-314-750-8	ISSN-L	ISSN (print)	ISSN (online) 2242-2854	
www www.doria.fi/ely-keskus		URN URN:ISBN:978-952-314-750-8		Language Finnish	Number of pages 68
Distributor Publication is available in internet: <a href="http://www.doria.fi">www.doria.fi</a>					
Place of publication and date Kuopio 19.2.2019			Printing place		

Raportissa on kuvattu kustannustehokas kaukokartoitusmenetelmä järvien ranta- ja vesikasvillisuuden kartoittamiseksi ilmakuvilta. Lähtöaineistona käytetään kansallisen ilmakuvausohjelman tuottamia orto-oikaistuja väri-infrakuvia, jotka ovat vapaassa käytössä avoimena datana. Menetelmää voidaan käyttää järvikasvillisuuden runsastumisen seurannassa ja ekologisen tilan arvioinnissa.

Raportin alussa kuvataan ilmakuva-aineisto ja kehitetty tulkintamenetelmä. Menetelmän luotettavuutta testataan usealla validointitavalla. Seuraavassa luvussa esitellään tulkintamenetelmällä tuotettavan tunnusluvun, kasvittumisasteen, hyödyntämistä järvien ekologisen tilan arvioimiseen muutamaa järvityyppiä edustavalle testijoukolle. Tulkintamenetelmän käyttöä esitellään vielä tapaustutkimuksessa, jossa ilmakuvista arvioidaan järvien vedenpinnan nostamisen vaikutuksia umpeenkasvukehitykseen. Raportin liitteet ohjeistavat tulkintasovelluksen käyttöönotossa.

**RAPORTTEJA 65 | 2018**  
**KANSALLISEN KUVAUSOHJELMAN ILMAKUVAT**  
**VESIKASVILLISUUDEN RUNSASTUMISEN JA TILAN ARVIOINNISSA**

Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

ISBN 978-952-314-750-8 (PDF)  
ISSN 2242-2854 (verkkajulkaisu)  
URN:ISBN:978-952-314-750-8

[www.doria.fi/ely-keskus](http://www.doria.fi/ely-keskus) | [www.ely-keskus.fi](http://www.ely-keskus.fi)